

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SOROCABA

MATHEUS SOARES DE VASCONCELLOS

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA APLICADA A
PRODUÇÃO CITRÍCOLA DA LARANJA ORGÂNICA**

SOROCABA, SP
2025

MATHEUS SOARES DE VASCONCELLOS

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA APLICADA A
PRODUÇÃO CITRÍCOLA DA LARANJA ORGÂNICA**

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção com ênfase em Produção Sustentável pela Universidade Federal de São Carlos *campus* Sorocaba como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.
Orientadora: Profa. Dra. Yovana María Barrera Saavedra.

SOROCABA, SP
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Matheus Soares de, Vasconcellos

Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida aplicada a produção citrícola da laranja orgânica / Vasconcellos Matheus Soares de -- 2025.
346f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Yovana María Barrera Saavedra

Banca Examinadora: Jaylton Bonacina de Araujo, Murillo Vetroni Barros

Bibliografia

1. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, produção orgânica, bacia hidrográfica do Alto Paranapanema. I. Matheus Soares de, Vasconcellos. II. Título.

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Matheus Soares de Vasconcellos, realizada em 28/04/2025.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Yovana María Barrera Saavedra (UFSCar)

Prof. Dr. Jaylton Bonacina de Araujo (IEL)

Prof. Dr. Murillo Vetroni Barros (UNESPAR)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

DEDICATÓRIA

A minha amada e querida, mãe, Neseli Santos Antunes, por sempre acreditar e me permitir ter chegado até aqui. E ainda, a minha amada e futura esposa, Amanda Lima Monteiro por estar sempre ao meu lado e me proporcionar todo o apoio necessário para a minha pesquisa.

AGRADECIMENTOS

À minha família, namorada e amigos que sempre acreditaram e me incentivaram nas minhas decisões.

Especialmente aos meus pais Neseli Santos Antunes e Moisés Soares de Vasconcellos, a minha amada namorada, Amanda Lima Monteiro, minha irmã Thalita Soares de Vasconcellos e sobrinha Manuella Nogueira de Oliveira por todo o investimento a mim atribuídos, principalmente, em afeto, carinho, respeito e educação. Serei eternamente grato, amo cada uma de vocês.

De maneira ampla, a Universidade Federal de São Carlos, principalmente, ao *campus* Sorocaba por todo o suporte a mim ofertado. A todo corpo docente, em especial minha orientadora Yovana María Barrera Saavedra ao longo da pós-graduação. Além de todos àqueles que contribuíram para a organização geral do ambiente de estudos proporcionado pela universidade. Destaco a importância dos produtores que permitiram que eu analisasse as suas propriedades de maneira detalhada, essencial para a realização desse projeto. Ademais, agradeço aos meus colegas e amigos da pós-graduação, que tornaram essa caminhada mais tranquila e divertida. Além também do grupo de Engenharia da Sustentabilidade (EngS) pelo apoio proporcionado durante o mestrado. Por este trabalho, destaco meus agradecimentos a minha orientadora por sempre confiar em mim e estar presente.

“Desenvolvimento sustentável para quê? O que é preciso sustentar?”
- Ailton Krenak

RESUMO

A produção de laranja ocupa posição de destaque na agricultura global, sendo o Brasil o maior produtor mundial. Apesar da relevância ambiental e social dos sistemas orgânicos, a literatura carecia de estudos que aplicassem a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida de forma integrada a esse modelo produtivo. A complexidade do sistema e a urgência de práticas mais sustentáveis tornam essa abordagem essencial para a tomada de decisão e formulação de políticas públicas. O objetivo deste trabalho foi mensurar o desempenho ambiental, social e de custeio da produção orgânica de laranja por meio da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida na região da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema. A metodologia foi dividida em duas etapas principais. Primeiramente, realizou-se uma revisão sistemática de literatura a partir das bases de dados Scopus e Web of Science, utilizando critérios de inclusão e exclusão para selecionar estudos que abordassem a avaliação ambiental, social e de custeio do ciclo de vida na produção de laranja. Essa revisão teve como objetivo mapear o estado da arte, identificar lacunas científicas e consolidar o referencial teórico do trabalho. Na segunda etapa, aplicou-se a ASCV em dois sistemas de produção orgânica de laranja localizados nos municípios de Buri e Itapetininga, por meio da coleta de dados primários com os produtores. A abordagem seguiu os pressupostos metodológicos das normas ISO 14040, 14044 e 14075, integrando pela soma teórica avaliações individuais com base em um objetivo e escopo comum. A análise foi complementada por uma etapa de sensibilidade para testar cenários com substituição de insumos, incremento de receitas e conformidade com a legislação trabalhista. A análise da sustentabilidade do ciclo de vida da produção orgânica de laranja em Buri e Itapetininga revelou vantagens ambientais significativas em relação ao sistema convencional, destacando-se aspectos como menor toxicidade humana, reduzida acidificação de águas e solos, e recuperação parcial de áreas degradadas, refletida por valores negativos na transformação de terras. Foram identificados desafios críticos como a alta dependência energética de fontes fósseis e impactos ambientais negativos associados ao uso intensivo de esterco bovino, especialmente quanto às mudanças climáticas e à elevada ecotoxicidade em água doce. Alternativas como a substituição do esterco bovino pelo de galinha mostraram reduções desses impactos, apontando caminhos para aprimorar a sustentabilidade ambiental. Do ponto de vista econômico, os sistemas orgânicos apresentaram custos operacionais substanciais, sendo a manutenção preventiva das instalações e o elevado custo de oportunidade da terra própria pontos sensíveis, destacando a dificuldade em diluir custos fixos devido à limitada escala produtiva e à falta de financiamento específico. Nesse contexto, pagamentos por serviços ecossistêmicos e créditos de carbono surgem como alternativas estratégicas para viabilizar economicamente essas produções. Por outro lado, a avaliação social revelou contradições preocupantes: práticas trabalhistas irregulares, incluindo informalidade e exploração econômica de trabalhadores migrantes. Esses achados reforçam a necessidade urgente de políticas públicas eficazes que assegurem formalização trabalhista e proteção dos direitos fundamentais dos trabalhadores rurais, destacando que, apesar das claras vantagens ambientais, a produção orgânica só será plenamente sustentável quando superar as atuais lacunas sociais e econômicas identificadas.

Palavras-chaves: produção orgânica; avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida; bacia hidrográfica do Alto Paranapanema

ABSTRACT

Orange production holds a prominent position in global agriculture, with Brazil being the world's largest producer. Despite the environmental and social relevance of organic systems, the literature lacked studies that applied life cycle sustainability assessment (LCSA) in an integrated manner to this production model. The system's complexity and the urgency for more sustainable practices make this approach essential for decision-making and the formulation of public policies. The objective of this study was to measure the environmental, social, and cost performance of organic orange production through life cycle sustainability assessment in the Alto Paranapanema watershed region. The methodology was divided into two main stages. First, a systematic literature review was conducted using the Scopus and Web of Science databases, applying inclusion and exclusion criteria to select studies addressing environmental, social, and life cycle costing assessments in orange production. The review aimed to map the state of the art, identify scientific gaps, and consolidate the study's theoretical foundation. In the second stage, the LCSA was applied to two organic orange production systems located in the municipalities of Buri and Itapetininga, using primary data collected from producers. The approach followed the methodological assumptions of ISO standards 14040, 14044, and 14075, integrating individual assessments through theoretical summation based on a shared objective and scope. The analysis was complemented by a sensitivity assessment to test scenarios involving input substitution, revenue increase, and compliance with labor legislation. The life cycle sustainability analysis of organic orange production in Buri and Itapetininga revealed significant environmental advantages compared to the conventional system, highlighting aspects such as lower human toxicity, reduced acidification of water and soil, and partial recovery of degraded areas, reflected by negative values in land transformation. Critical challenges were identified, including high dependence on fossil-based energy sources and negative environmental impacts associated with the intensive use of cattle manure, especially regarding climate change and high freshwater ecotoxicity. Alternatives such as replacing cattle manure with poultry manure showed reduced impacts, pointing to potential pathways for improving environmental sustainability. From an economic perspective, organic systems showed substantial operational costs, with preventive maintenance of infrastructure and the high opportunity cost of owned land being particularly sensitive issues. These findings highlight the difficulty of diluting fixed costs due to the limited production scale and lack of specific financing. In this context, payments for ecosystem services and carbon credits emerge as strategic alternatives to economically support these systems. On the other hand, the social assessment revealed concerning contradictions: irregular labor practices, including informality and economic exploitation of migrant workers. These findings underscore the urgent need for effective public policies to ensure labor formalization and protection of rural workers' fundamental rights, emphasizing that, despite the clear environmental benefits, organic production will only be truly sustainable when the current social and economic gaps are addressed.

Keywords: organic production; life cycle sustainability assessment; Alto Paranapanema watershed.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - combinações dos termos de busca	52
Tabela 2 - cálculos para processamento dos dados.....	67
Tabela 3 - sistema de pontos para a avaliação de impacto do ciclo de vida.....	73
Tabela 4 - inventário ambiental do ciclo de vida do produtor buriense de laranja.....	116
Tabela 5 - custeio do ciclo de vida para a produção buriense de laranja.....	118
Tabela 6 - resultados da avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida	123
Tabela 7 - impacto social: salário justo	130
Tabela 8 - impacto social: hora de trabalho	132
Tabela 9 - impacto social: trabalho forçado.....	134
Tabela 10 - impacto social: saúde e segurança	137
Tabela 11 - inventário ambiental do produtor itapetiningano.....	139
Tabela 12 - custeio do ciclo de vida para a produção itapetiningana de laranja.....	141
Tabela 13 - resultados da avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida em Itapetininga	145
Tabela 14 - impacto social: salário justo produção itapetiningana	152
Tabela 15 - impacto social: hora de trabalho produção itapetiningana	154
Tabela 16 - impacto social trabalho forçado na produção itapetiningana	157
Tabela 17 - impacto social: saúde e segurança produção itapetiningana	159
Tabela 18 - resultado da análise de impacto do cenário com esterco de galinha para Buri....	169
Tabela 19 - resultado da análise de impacto do cenário com esterco de galinha para Itapetininga	170
Tabela 20 - cenário de conformidade com a legislação trabalhista	176
Tabela 21 - artigos analisados na revisão de literatura	234
Tabela 22 - contribuição das entradas para os impactos ambientais em Buri	268
Tabela 23 - contribuição das entradas para os impactos ambientais em Itapetininga	285
Tabela 24 - contribuição das entradas sensibilizada com esterco de galinha para os impactos ambientais em Buri.....	297
Tabela 25 - contribuição das entradas sensibilizada com esterco de galinha para os impactos ambientais em Itapetininga.....	311
Tabela 26 - impactos sociais na produção orgânica de Buri.....	329
Tabela 27 - custeio do ciclo de vida para a produção buriense de laranja.....	332
Tabela 28 - impactos sociais na produção orgânica de Itapetininga.....	346
Tabela 29 - custeio do ciclo de vida para a produção buriense de laranja.....	349

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - quantidade de artigos por periódicos	84
Gráfico 2 - unidades funcionais mencionadas pelos estudos	102
Gráfico 3 - quantificação das abordagens do ciclo de vida por estudo	105
Gráfico 4 - avaliação de impacto ambiental do produtor buriense.....	126
Gráfico 5 - avaliação de impacto ambiental do produtor itapetiningano	149
Gráfico 6 - comparação da sensibilidade.....	171
Gráfico 7 - avaliação de impacto ambiental do produtor buriense.....	326
Gráfico 8 - avaliação de impacto ambiental do produtor itapetiningano	343

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - estrutura da dissertação	14
Figura 2 - estrutura de trabalho avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida	26
Figura 3 - abordagem de integração do ciclo de vida.....	28
Figura 4 – estrutura de trabalho somatória das abordagens do ciclo de vida	30
Figura 5 - os tipos de abordagem de CCV	38
Figura 6 - metodologia da revisão sistemática de literatura	48
Figura 7 - fluxograma para seleção dos dados	52
Figura 8 - etapas da estratégia de leitura	54
Figura 9 - bacia hidrográfica do Alto Paranapanema	57
Figura 10 - fronteira do sistema da produção orgânica de laranja para ASCV	61
Figura 11 - triagem dos artigos componentes da revisão bibliográfica sistemática	80
Figura 12 - realização de avaliação do ciclo de vida da laranja pelo mundo	81
Figura 13 - análise de similaridade para a avaliação do ciclo de vida ambiental de laranjas...	88
Figura 14 - similitude dos resultados da abordagem de custeio	93
Figura 15 - análise de similitude para a abordagem social.....	96
Figura 16 - classificação hierárquica de descendentes para os estudos híbridos.....	100
Figura 17 - nuvem de palavras para as categorias de impacto analisadas	108
Figura 18 - análise fatorial de correspondência englobando todos os estudos.....	180
Figura 19 - descrição do sistema de pontos por indicador	230
Figura 20 - bacia hidrográfica do Alto Paranapanema destaque para Buri	325
Figura 21 - bacia hidrográfica do Alto Paranapanema ênfase em Itapetininga	341
Figura 22 - comprovante de projeto para o Comitê de Ética.....	359

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - estudos do ciclo de vida da produção de laranja	10
Quadro 2 - métodos de integração para ASCV	28
Quadro 3 - escopo dos estudos de ACV-ambiental relacionados a produção de laranja	34
Quadro 4 - objetivos da avaliação ambiental, social e de custeio do ciclo de vida	59
Quadro 5 - indicadores de categoria	69
Quadro 6 - custos de produção para a laranja	71
Quadro 7 - indicadores das subcategorias sociais de impacto	74
Quadro 8 – formulário para coleta dos dados ambientais do ciclo de vida	354
Quadro 9 - questionário para o custeio do ciclo de vida	355
Quadro 10 - questionário social do ciclo de vida	358

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
1.1. Contextualização e justificativa	6
1.1.1. A relevância da produção de laranja e seus impactos	6
1.1.2. Sistemas alternativos de produção e a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida	8
1.1.3. Abordagem somatório do ciclo de vida e a questão de pesquisa	12
1.2. Estruturação da dissertação em sustentabilidade do ciclo de vida	14
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. Produção orgânica de laranja	18
3.2. Produção convencional de laranja	22
3.3. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida	25
3.3.1. Avaliação ambiental do ciclo de vida (ACV-ambiental)	33
3.3.2. Custeio do ciclo de vida (CCV)	37
3.4.3. Avaliação social do ciclo de vida (ACV-social)	42
4. MÉTODOS DE PESQUISA	47
4.1. Metodologia para a revisão sistemática de literatura	48
4.1.1. Bases de dados	48
4.1.2. Critérios de inclusão e exclusão dos estudos	49
4.1.3. Definição das palavras-chaves	49
4.1.4. Buscas nas bases de dados	51
4.1.5. Estratégia de leitura	53
4.1.6. Análises	54
4.2. Metodologia avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida	56
4.2.1. Descrição da região de estudo	56
4.2.2. Objetivo	59
4.2.3. Escopo	60
4.2.4. Inventário do ciclo de vida	64
4.2.5. Avaliação do impacto do ciclo de vida	68
4.2.6. Interpretação	75
4.2.7. Soma teórica como integração da sustentabilidade do ciclo de vida	77
5. RESULTADOS	78

5.1.	Revisão sistemática de literatura.....	79
5.1.1.	Aspectos gerais	79
5.1.2.	Aspectos específicos.....	85
5.2.	Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida.....	116
5.2.1.	Produção orgânica de Buri	116
5.2.2.	Produção orgânica de Itapetininga	138
6.	INTERPRETAÇÃO	161
6.1.	Análise de pontos críticos (<i>hotspot</i>).....	161
6.1.1.	Avaliação ambiental do ciclo de vida	161
6.1.2.	Custeio do ciclo de vida	163
6.1.3.	Social do ciclo de vida.....	165
6.2.	Análise de sensibilidade.....	167
6.2.1.	Ambiental do ciclo de vida.....	167
6.2.2.	Custeio do ciclo de vida	173
6.2.3.	Social do ciclo de vida.....	175
7.	DISCUSSÃO	178
7.1.	Revisão sistemática de literatura.....	178
7.1.1.	Implicações para a revisão sistemática de literatura.....	184
7.2.	Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida.....	185
7.2.1.	Avaliação ambiental do ciclo de vida	185
7.2.2.	Custeio do ciclo de vida	187
7.2.3.	Avaliação social do ciclo de vida	189
8.	CONCLUSÕES	193
8.1.	Revisão sistemática de literatura.....	193
8.2.	Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida	195
8.2.1.	Avaliação ambiental do ciclo de vida.....	195
8.2.2.	Custeio do ciclo de vida	196
8.2.3.	Avaliação social do ciclo de vida	197
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	198
9.1.	Perspectivas futuras	201
REFÊRENCIAS		204
APÊNDICE 1		230
APÊNDICE 2		234
APÊNDICE 3		268
APÊNDICE 4		285

APÊNDICE 5	297
APÊNDICE 6	311
APÊNDICE 7	322
APÊNDICE 8	337
ANEXO 1	354
ANEXO 2	355
ANEXO 3	358
ANEXO 4	359

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e justificativa

1.1.1. A relevância da produção de laranja e seus impactos

A laranja é uma das frutas mais consumidas no mundo (BONALES-REVUELTA et al., 2022), por ser rica em nutrientes benéficos à saúde humana, bem como, por suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e anticancerígenas, em razão do seu rico teor de vitamina C, óleos essenciais, compostos fenólicos, flavonoides e fibras alimentares (BEN HSOUNA et al., 2023; MANAKAS et al., 2024). Refletindo na sua produção, que em 2022 alcançou 76,4 milhões de toneladas globalmente (FAO, 2024). Em paralelo, por suas características funcionais, o fruto é amplamente utilizado em indústrias para a produção de suco concentrado (NEVES et al., 2020), cosméticos e remédios (FARAG et al., 2020). O Brasil possui papel relevante nessa conjuntura, além de ser o maior processador de laranja (FAO, 2021b), é responsável por 22,4% do total produzido, constituindo o país sul-americano como o principal produtor de laranja, seguido por China com 13,68% e Índia composta por 12,46% do cultivo. O alcance de quantidades expressivas de produção convencional é configurado pelo cultivo intensivo na cultura cítrica, com um modelo tecnológico baseado no uso intensivo de mecanização, adubos minerais de alta solubilidade e defensivos agrícolas (ZHANG et al., 2023). A adoção em larga escala de cultivares de alto rendimento e responsivas a nutrientes, fertilizantes químicos, melhorias na irrigação e práticas de manejo de culturas, e a mecanização agrícola aumentaram a produção (MEENA et al., 2024) de laranja em 58,63% entre 2000 a 2019 (FAO, 2021a).

No entanto, sistemas de produção agrícola intensivos em recursos têm causado preocupações, como deterioração da produtividade dos fatores, eficiência no consumo de recursos, qualidade do solo e lucro agrícola (MEENA et al., 2024). A produção convencional de laranja demanda grandes volumes de água, além de, enfrentar desafios críticos, como a disseminação de pragas e doenças (e.g. greening dos citros, cancro cítrico) que causam grandes prejuízos à produção e perdas econômicas (FARES et al., 2017). Além disso, esse sistema de produção contribui com a pegada de carbono e ecotoxicidade de água doce (BEN ABDALLAH et al., 2023), o que prejudica o crescimento e a produtividade, bem como, causa danos aos organismos aquáticos e à biodiversidade. Fazendo com que manter a alta produtividade demande o aumento no uso de fertilizantes químicos (SILVA et al., 2019). Como contraponto, a longo prazo, esse modelo de produção causa danos ambientais, estagna, declina ou responde

mal aos fertilizantes (MEENA et al., 2024). O Fundo de Defesa da Citricultura (FUNDECITRUS) evidencia, nesse sentido, que as safras de 2021 e 2022, ficaram abaixo da média das últimas dez safras em, aproximadamente, 35 milhões de caixas, o que equivale a uma queda de 10,53%, impactando ainda na saúde das plantações e, por extensão, na economia das regiões produtoras (BRECKA; SHAHI; CHEN, 2018). Dada a íntima dependência da produtividade agrícola aos fatores climáticos (KABIR et al., 2024), a produção baseada no uso intensivo de fertilizantes químicos demonstra seu esgotamento como sistema produtivo.

A outra face da produção intensiva em fertilizantes químicos para controlar pragas e aumentar a produtividade das culturas é relativa a saúde humana, principalmente seus desdobramentos aos trabalhadores rurais, haja visto que os fertilizantes e pesticidas são o principal fator de risco para a saúde dos trabalhadores (COBOS et al., 2024). A exposição ocupacional está associada à contaminação de indivíduos que manipulam pesticidas. Essa contaminação pode ocorrer durante o processo de formulação, no manuseio, ou ainda durante a colheita, quando os trabalhadores entram em contato direto com produtos contaminados (SANTOS; MENTA, 2016). Cobos et al. (2024) constatam que os sintomas mais relatados entre os trabalhadores rurais são irritação nos olhos, dores de cabeça e irritação nasal. Em paralelo a exposição a agrotóxicos, o trabalhador na produção de laranja é exposto a temperaturas elevadas, riscos de acidentes com animais peçonhentos ou material de trabalho, submissão a ritmo acelerado de produção e jornada de trabalho elevada (SANTOS; MENTA, 2016), culminando com riscos relacionados a dores nas costas, dores no pescoço e ombros (IOFRIDA et al., 2019). Nesse contexto se insere o citricultor, com o setor agrícola amplamente reconhecido pelo alto risco de causar problemas de saúde devido às diversas exposições ocupacionais. Estudos epidemiológicos apontam a agricultura como uma das atividades mais perigosas, tornando os trabalhadores rurais um dos grupos mais vulneráveis aos efeitos nocivos dos agrotóxicos para a saúde (RODRÍGUEZ-GUERRERO et al., 2024; TACHE et al., 2023).

A produção orgânica, por seu lado, requer práticas sustentáveis, como o manejo ecológico do solo, controle biológico de pragas e uso de bioinsumos, que demandam maior trabalho manual (BOSCHIERO et al., 2023). Em igual sentido, Assis e Romeiro (2007) mencionam que a agricultura orgânica tende a demandar maior mão de obra em comparação à convencional, devido à substituição de insumos químicos por práticas manuais. A conversão para sistemas orgânicos aumenta a demanda de trabalho, especialmente para atividades como capinas manuais. Os mesmos autores expressam que 88,1% dos agricultores entrevistados afirmaram que a transição do sistema convencional para o orgânico eleva a necessidade de mão

de obra, com um aumento médio de 65%. E tarefas manuais frequentes, como o ensacamento de frutas, realizadas sob pressão temporal, podem comprometer a saúde dos trabalhadores agrícolas devido ao esforço físico considerável, posturas desconfortáveis e movimentos repetitivos (GEMMA; ABRAHÃO; SZNELWAR, 2004). Vahdat et al. (2022) apontam que a informalidade é uma das principais características do trabalho agrícola no Brasil, chegando a 66%, enquanto a média nacional é de 37,1%. Afetando uma parcela significativa dos trabalhadores do setor citrícola. Essa informalidade os deixa sem acesso a direitos garantidos pelo decreto lei nº. 5.452 de 1943, como registro em carteira, salário-mínimo, férias, e décimo terceiro salário (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Ademais, em áreas mais isoladas, as condições de trabalho são ainda mais precárias associadas à oferta de empregos em condições insalubres, intensificação e exploração do trabalho, além de processos de alienação dos trabalhadores (PONTES; SILVA; SILVA, 2023).

1.1.2. Sistemas alternativos de produção e a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida

Os sistemas agrícolas de pequenos agricultores, despontam como um sistema alternativo passível de assimilar e contornar as questões ambientais como altas emissões de gases de efeito estufa, esgotamento e poluição da água, degradação do solo e perda de biodiversidade (AKOSAH; ADJEI-NSIAH; BRENTU, 2021). Os pequenos agricultores, na produção brasileira, contribuem com 10% no valor adicionado ao produto interno bruto (BELTRAME; PEREIRA, 2017). Os mesmos autores mencionam que os pequenos produtores desempenham um papel crucial na economia de um amplo número de municípios, o que a torna indispensável para o desenvolvimento do Brasil. Caracterizada principalmente pela junção nela existente entre a unidade de produção e a família. O pequeno produtor agrícola, em território nacional, tem sua produção com baixa mecanização e uma maior variedade de gêneros alimentícios, dentre eles, a laranja (BELTRAME; PEREIRA, 2017).

A forma que os pequenos produtores vêm atuando para mitigar os efeitos colaterais da produção agrícola em larga escala é pelo desenvolvimento de métodos e processos agrícolas que segundo eles são seguros e sustentáveis. Trata-se de uma produção baseada na interação dinâmica entre solo, plantas, animais, pessoas, ecossistema e meio-ambiente. Adicionalmente, as práticas de manejo da fertilidade do solo orgânicas e inorgânicas no contexto do manejo integrado da fertilidade do solo é considerada a maneira mais viável de enfrentar o desafio da degradação do solo, por exemplo (AKOSAH; ADJEI-NSIAH; BRENTU, 2021). A integração eficaz do esterco orgânico no manejo da fertilidade do solo ajuda a melhorar a fertilidade do

solo a um custo muito baixo. Assim, a combinação de fertilizante mineral e orgânico ajuda a melhorar o rendimento das laranjas, assinalam os mesmos autores. Evidenciando alternativas para a busca irrefutável de aumentos de produtividade agrícola, por meio do uso intensivo de fertilizantes químicos e adubações minerais pesadas (FORTALEZA et al., 2016), resultando em alimentos nutricionalmente pobres (DOMENE et al., 2023) com poluição no meio ambiente em níveis indesejáveis (MEENA et al., 2024). Nesse contexto, Fortaleza et al. (2016) evidenciam, a produção orgânica tem se destacado como uma abordagem agrícola ecologicamente sustentável diante dos problemas ambientais, promovendo o desenvolvimento da agricultura orgânica. Os mesmos autores continuam, esta prática representa um retorno às antigas técnicas agrícolas, adaptadas às tecnologias modernas de produção agropecuária, visando aumentar a produtividade e minimizar a interferência nos ecossistemas. Além disso, a agricultura orgânica é uma alternativa viável para a sustentabilidade das pequenas propriedades (BELARMINO, 2017).

Para mensurar a viabilidade da produção orgânica, a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida é uma técnica eficaz, pois é uma metodologia integrativa e holística que pode atender a diferentes questões (MORIIZUMI; MATSUI; HONDO, 2010; ZORTEA; MACIEL; PASSUELLO, 2018; ZIRA et al., 2023) . Essa abordagem fornece informações essenciais para atestar a resiliência e a sustentabilidade do sistema de produção (MUTHU, 2021). Traçando uma linearidade na construção da relevância da abordagem do ciclo de vida as Nações Unidas têm direcionado seus esforços em prol do direito dos seres humanos ao bem-estar e a preservação de um planeta habitável com diferentes iniciativas (HACKENHAAR et al., 2024), abrangendo a Declaração dos Objetivos do Milênio (UNITED NATIONS, 2000), os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (UNITED NATIONS, 2015), e ainda, as nações se comprometeram a unir esforços para combater as mudanças climáticas pelo Acordo de Paris (UNITED NATIONS, 2015). Em paralelo, se intensificou as pesquisas para elucidar caminhos para identificar e contornar os impactos ambientais dos sistemas produtivos, a partir de conceitos, como a bioeconomia que enfatiza a importância dos processos ecológicos que otimizam o uso de energia e nutrientes, promovem a biodiversidade e evitam monoculturas e a degradação do solo (BUGGE; HANSEN; KLITKOU, 2016), construindo ferramentas (ISO, 2006), planos (BOCANEGRA RIOS; THOMSON, 2024), propostas de trabalho (KC et al., 2024) e a integração das diferentes diretrizes da ONU nos âmbitos social, econômico e ambiental (CORDELLA et al., 2023).

Nos últimos anos, houve avanços significativos nos métodos para medir e relatar impactos sociais, econômicos e ambientais como análise de impacto socioeconômico (CHEN, 2023), pegada hídrica (MBEWU et al., 2024) e rotulagem ambiental (MELNYCHUK et al., 2024) com progresso apoiado em soluções integradas (HACKENHAAR et al., 2024). Nesse sentido, é salutar a técnica da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, que consiste na vinculação entre a avaliação ambiental, social e o custeio do ciclo de vida (KLOEPFFER, 2008). A primeira, é uma técnica empregada para avaliar as implicações ambientais de um produto, desde a produção de matéria-prima, passando por processamento, entrega, uso, e posterior recuperação como reparo, manutenção, reciclagem durante seu ciclo de vida (MUTHU, 2021). A norma ISO 14.040 estabelece o direcionamento para a aplicação da avaliação ambiental (ISO, 2006). A avaliação social do ciclo de vida é qualificada como uma abordagem sistemática para avaliar os aspectos sociais e socioeconômicos dos produtos, bem como seus potenciais impactos positivos e negativos, ao longo de seu ciclo de vida (DESIDERIO et al., 2022), com a norma ISO 14.075 estabelecendo os princípios e a estrutura de trabalho para a avaliação social do ciclo de vida (ISO, 2024) e a *Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment* o direcionamento para avaliação de impacto social (TRAVERSO et al., 2021). O custo do ciclo de vida, é uma abordagem de gestão econômica, considera todos os fatores econômicos relevantes, como custos e receitas, durante o período de vida do produto (PADILLA-RIVERA et al., 2023).

A partir das premissas estabelecidas pela avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida a produção de laranja tem sido estudada (FALCONE et al., 2024). Ao integrar as três vertentes, a ASCV oferece profundidade nas análises, incorporando aspectos físicos, sociais, econômicos, culturais, institucionais e políticos no processo decisório (CORDELLA et al., 2023; CURRAN, 2012; MUTHU, 2021), essencial para planejar e implementar práticas sustentáveis. Isso é relevante para o cultivo de laranja, que sofre as consequências das mudanças climáticas (FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA, 2024), promovendo o equilíbrio entre fatores econômicos, sociais e ambientais (MUTHU, 2021).

Nesse sentido, as pesquisas inerentes ao ciclo de vida ambiental, de custeio e social são formadas, mas não exaustivamente, pelos estudos mencionados no Quadro 1.

Quadro 1 - estudos do ciclo de vida da produção de laranja

Abordagem	Referência	Objetivos	Principal resultado
Ambiental do ciclo de vida	Cabot et al. (2022)	Revisão descritiva e crítica atualizada do estado da arte da pesquisa em avaliação do ciclo de vida em frutas cítricas	As emissões no campo, produção de fertilizantes e irrigação são as principais fontes de impacto, incluindo

		eutrofização, acidificação e escassez hídrica. Métodos regionalizados e mecanicistas, como o modelo LEACHN, mostram maior precisão ao considerar variabilidade temporal e local. Recomenda-se melhorar bancos de dados e validar fatores de emissão para análises mais representativas.
	Knudsen et al. (2011)	Investigar a produção de laranja orgânica em pequena escala comparada com a produção de laranja orgânica convencional em pequena escala e em grande escala em território brasileiro
	Coltro et al. (2009)	Avaliar o perfil ambiental da produção de laranja no Brasil
Custo do ciclo de vida	Sgroi et al. (2015)	Avaliar a sustentabilidade econômica e financeira da produção de citrus, tanto na agricultura orgânica quanto na convencional
	Miranda-Ackerman et al. (2017)	Incorporar o pensamento ambientalmente consciente em todos os processos da cadeia de suprimentos

			França. Tecnologias avançadas e otimização multiobjetivo foram identificadas como essenciais para reduzir custos e emissões, maximizando a viabilidade econômica. O equilíbrio entre sustentabilidade e rentabilidade é estratégico para o setor.
Social do ciclo de vida	Muñoz Torres et al. (2022)	Avaliar os impactos sociais e ambientais mais relevantes da avaliação da pegada ecológica e do ciclo de vida social no setor citrícola	Melhores condições de trabalho e infraestrutura em cadeias curtas são evidenciadas, como na Espanha, enquanto países exportadores, como a África do Sul, enfrentam maiores desafios sociais, incluindo trabalho infantil e corrupção. Cadeias curtas mostraram benefícios sociais, mas exigem estratégias holísticas para garantir sustentabilidade
	Iofrida et al. (2019)	Propor e aplicar uma metodologia de avaliação de impacto social ao longo do ciclo de vida de produtos agrícolas, com foco nos fatores de risco psicossociais que afetam a saúde dos trabalhadores	Identifica maior exposição a riscos físicos e psicológicos no ciclo das clementinas (54.110 horas) em relação às laranjas industriais (43.088 horas). Utilizando <i>odds ratio</i> , a metodologia destaca distúrbios musculoesqueléticos e cardiovasculares como principais preocupações. A abordagem pode guiar melhorias nas condições de trabalho e sustentabilidade agrícola.

Em conjunto, as pesquisas evidenciadas pela literatura mostram que os impactos ambientais, de custeio e sociais da cadeia de produção de cítricos estão fortemente entrelaçados. O aprimoramento de bases de dados regionais, a adoção de estratégias logísticas mais sustentáveis e a implementação de melhores condições laborais são caminhos convergentes para tornar o sistema agrícola mais sustentável, competitivo e justo. A integração das três dimensões da sustentabilidade, ambiental, social e econômica, é, portanto, indispensável para orientar políticas públicas e decisões empresariais no setor citrícola.

1.1.3. Abordagem somatório do ciclo de vida e a questão de pesquisa

As técnicas de avaliação ambiental, social e o custeio do ciclo de vida requerem grande quantidade de informações, além de cada uma estar em diferente nível de maturidade quanto sua aplicação, com a ambiental sendo a mais robusta e aplicada e a social é mais recente com

menos pesquisas e com uma norma específica estabelecida em 2024 (ISO, 2024). Em igual sentido, Zortea et al. (2018), Muthu (2021), Ben Abdallah et al. (2022) mencionam que a integração dos dados de custeio, sociais e ambientais do ciclo de vida, permite aproveitar metodologias já consolidadas para cada dimensão, facilitando a aplicação prática e a interpretação dos resultados. A soma dos resultados possibilita identificar os impactos negativos em relação às emissões e custos operacionais, bem como os benefícios, em relação a compensação entre emissões evitadas e ganhos econômicos (KHANDELWAL et al., 2019). Além de oferecer uma visão holística do sistema de produção analisado, o que é especialmente útil para orientar políticas públicas e melhorias nos sistemas produtivos, dada a complexidade inerente à cadeia de produção de laranja orgânica (IQBAL; LIU; CHEN, 2020). A abordagem somatória se mostra vantajosa por simplificar a avaliação e por integrar diferentes perspectivas que, juntas, proporcionam um diagnóstico mais completo dos impactos associados aos processos avaliados (COSTA, 2023).

Embora a utilização de um indicador unificado possa facilitar a tomada de decisão ao oferecer um resumo integrado dos impactos, diferentes autores alertam para as limitações desse tipo de agregação. Reap et al. (2008) argumentam que o uso de indicadores compostos pode ocultar compensações críticas entre categorias de impacto, nesse sentido, quando uma melhoria ambiental ocorre às custas de prejuízos sociais ou econômicos. Finnveden et al. (2009) também destacam que a agregação pode mascarar compensações importantes, dificultando a transparência na comunicação dos resultados e comprometendo a consistência da tomada de decisão, especialmente em contextos com múltiplas partes interessadas.

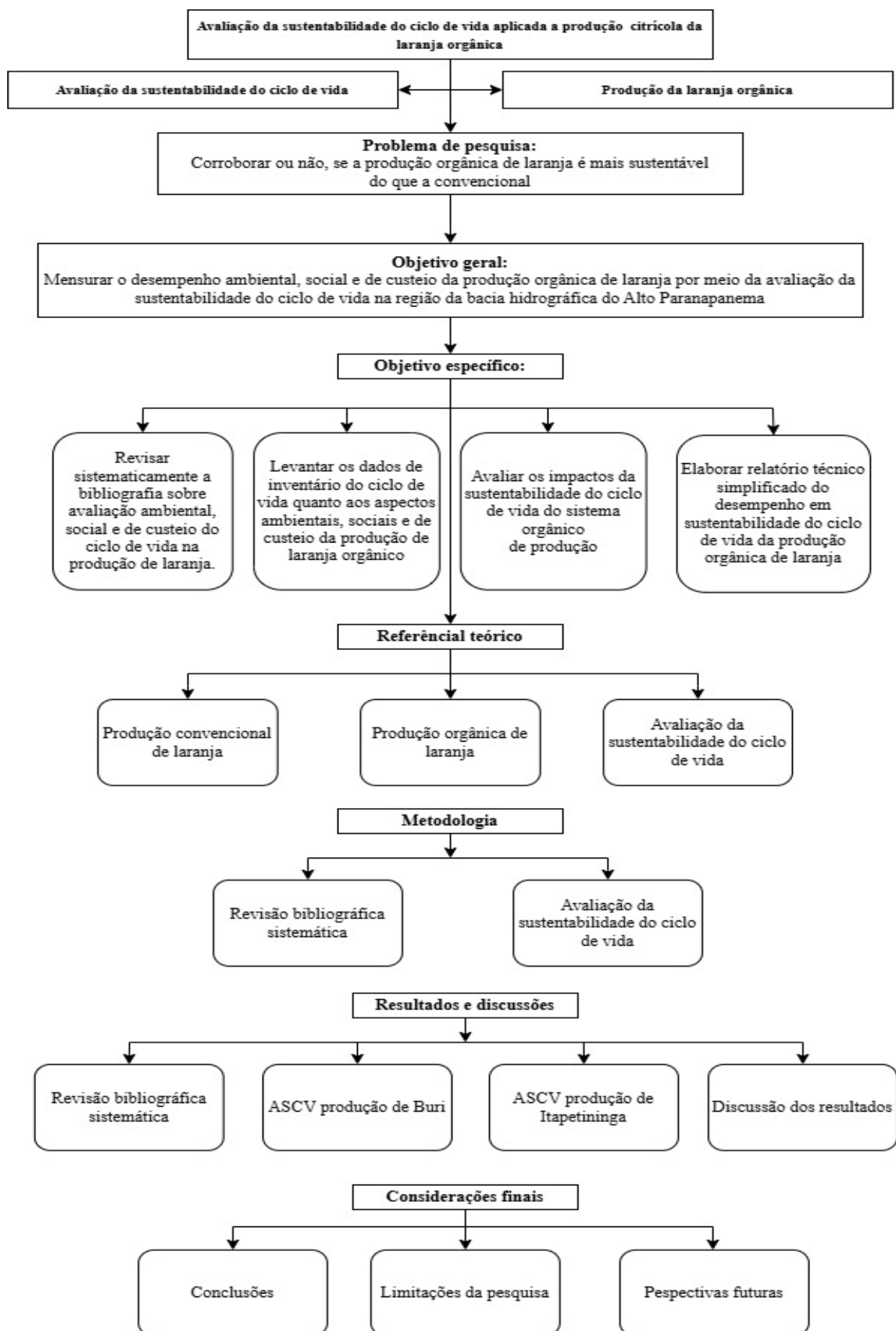
Martínez-Blanco et al. (2014) enfatizam que a aplicação de pesos subjetivos na construção de indicador unificado pode introduzir vieses não transparentes, comprometendo a comparabilidade entre estudos e reduzindo a capacidade de identificar pontos críticos específicos em uma cadeia produtiva. A interpretação isolada de um valor agregado dificulta a priorização de ações, já que os tomadores de decisão perdem acesso às nuances entre impactos distintos. Apesar da utilidade da abordagem somatória por permitir uma síntese clara e integradora dos impactos avaliados (KLOEPFFER, 2008), é fundamental reconhecer que sua aplicação deve ser acompanhada de análises desagregadas e justificativas explícitas sobre os critérios de ponderação adotados. O equilíbrio entre simplicidade para decisão e riqueza informacional para diagnósticos técnicos é essencial para garantir a integridade e a utilidade da avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida.

A presente dissertação realizou a aplicação da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, aspecto que se faz imperativo, pois não há na literatura nacional e internacional pesquisa que aplique a ASCV a produção da laranja convencional e orgânica. Nesse sentido, ao somar as diferentes abordagens do ciclo de vida — avaliação ambiental do ciclo de vida (GUINÉE, 2002; CURRAN, 2012; OLIVEIRA et al., 2021), avaliação social do ciclo de vida (DE LUCA et al., 2015; TRAVERSO et al., 2021) e custo do ciclo de vida (CIROTH et al., 2008; REDDY; KURIAN; ARDAKANIAN, 2015) — procura-se construir um entendimento mais completo e robusto dos desafios e oportunidades que a produção orgânica de laranja oferece, além de corroborar ou não, se a produção orgânica de laranja é mais sustentável do que a convencional. Assim, esta pesquisa tem o potencial de ampliar o conhecimento acadêmico na área, oferecendo informações relevantes que podem auxiliar produtores, formuladores de políticas públicas e a sociedade de modo geral, na promoção de práticas sustentáveis na citricultura brasileira.

1.2. Estruturação da dissertação em sustentabilidade do ciclo de vida

A Figura 1 estabelece os delineamentos estruturais da presente dissertação.

Figura 1 - estrutura da dissertação



Fonte: elaborado pelo autor.

A estrutura consiste na introdução, ramificada em contextualização e justificativa, supramencionada, na qual procura-se retratar a relevância da produção citrícola da laranja, os desdobramentos ambientais, de custeio e sociais dessa cultura caminhando para as ferramentas de avaliação da sustentabilidade para compreensão da produção sustentável.

Os objetivos delineiam a qual fim a presente dissertação se propõe, deixando especificado o que se pretende alcançar. O referencial teórico proporciona os aspectos teóricos basilares quanto à produção convencional e orgânica da laranja, e a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida.

Em seguida, é retratado a metodologia de pesquisa, cujas informações mostram o caminho realizado para o alcance dos objetivos. Consistindo na revisão sistemática de literatura, constituída pelas bases de dados, definição dos critérios de inclusão e exclusão de artigos, busca nas bases de dados, estratégia de leitura e análise dos dados a qual procura evidenciar a lacuna existente na aplicação da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida para a produção de laranja. A metodologia de avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, ramificada em objetivo e escopo, inventário e análise da sustentabilidade do ciclo de vida e interpretação. Os caminhos para a aplicação são formados pela combinação das três técnicas de ciclo de vida. Por fim, integra-se a avaliação ambiental, social e de custeio do ciclo de vida pela abordagem somatória, resultando na avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida.

Os resultados da revisão de literatura são demonstrados por meio dos aspectos gerais e específicos. Quanto aos aspectos gerais são retratados os resultados da estratégia de leitura, os estudos ao redor do mundo sobre avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida aplicado à produção de laranja e as principais revistas que abordam o tema. Os aspectos específicos trazem informações sobre a abordagem ambiental, social e de custeio do ciclo de vida com seus principais resultados e conclusões, as unidades funcionais mais recorrentes, os limites do sistema mais usuais e as principais categorias de impacto quanto à sustentabilidade do ciclo de vida. A integração da avaliação ambiental, social e o custeio do ciclo de vida, é executada pela soma teórica das diferentes abordagens, aplicada separadamente, em Buri e Itapetininga, com base em suas metodologias próprias, respeitando normas como as ISO 14040, 14044 e 14075, e mantendo um objetivo e escopo comuns para garantir a comparabilidade dos resultados, o que permite uma modelagem integrada, melhorando a consistência da avaliação e dos resultados para os tomadores de decisão, fornecendo informações passíveis de contribuir com a construção de planos e políticas públicas para a produção orgânica de laranja.

A discussão visa proporcionar luz às argumentações evidenciadas pelos artigos analisados e comparar entre si esses dados para construção de um todo coerente que possibilita a realização de conclusões mais profundas sobre a aplicação da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida. Adicionalmente, os resultados da aplicação da sustentabilidade do ciclo de vida serão discutidos com a literatura para comparar a contribuição da produção orgânica frente à convencional para a produção sustentável, gerando uma discussão mais robusta sobre o tema.

As considerações finais englobam as conclusões que retomam os objetivos delimitados demonstrando os resultados principais que contribuem para a resolução das metas, as principais dificuldades para a realização da dissertação e as contribuições para o conhecimento científico nacional e internacional. Por fim, é estabelecido o panorama para pesquisas futuras sobre o tema.

Recomenda-se realizar a leitura das seções de maneira não linear, a partir dos títulos que possuem correlação, por exemplo, metodologia da revisão sistemática, resultados da revisão sistemática, discussão da revisão sistemática e conclusões da revisão sistemática. Para facilitar a compreensão e correlação entre as seções.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Mensurar o desempenho ambiental, social e de custeio da produção orgânica de laranja por meio da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida na região da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos para alcançar objetivo geral delineado, se ramificam em:

- I. Revisar sistematicamente a bibliografia sobre avaliação ambiental, social e de custeio do ciclo de vida na produção de laranja;
- II. Levantar os dados de inventário do ciclo de vida quanto aos aspectos ambientais, sociais e de custeio da produção de laranja orgânico;
- III. Avaliar os impactos da sustentabilidade do ciclo de vida do sistema orgânico de produção;
- IV. Elaborar relatório técnico simplificado do desempenho em sustentabilidade do ciclo de vida da produção orgânica de laranja.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico abrangerá produção de laranja orgânica e convencional, e a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida.

3.1. Produção orgânica de laranja

O final do século XIX proporcionou movimentos que se opunham aos sistemas tradicionais de produção de alimentos e aos impactos negativos por eles causados, dando origem a uma produção voltada ao sistema orgânico, criando uma tendência favorável a uma alimentação saudável (MORAES; OLIVEIRA, 2017). Entre 1920 e 1930, os primeiros grupos organizados tomam forma, criando-se duas correntes de pensamento dentro do saber agrônomo. De um lado o alternativo, um contraponto ao convencional, esse último amplamente consolidado (VON SCHWERIN, 2022). Os modelos alternativos de produção podem ser ramificados, conforme Ehlers (2017), em agricultura: biodinâmica, orgânica, biológica e natural.

A produção orgânica, inicialmente concebida como um sistema de produção que visa promover a saúde dos solos, dos ecossistemas e das pessoas, compreendida de forma mais ampla, ela se baseia em processos ecológicos, na biodiversidade e em ciclos adaptados às condições locais, oferecendo uma alternativa ao uso de insumos com efeitos adversos. A agricultura orgânica combina tradição, inovação e ciência de forma a beneficiar o ambiente compartilhado, promover relações justas e garantir uma boa qualidade de vida para todos os envolvidos (INTERNACIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS, 2008). Em âmbito nacional, a Lei nº. 10.831 qualifica o sistema orgânico de produção como aquele que faz uso de técnicas específicas, por meio da otimização do uso dos recursos naturais e socioeconômicos disponíveis, respeitando a integridade cultural das comunidades rurais, sob objetivo de alcançar a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais, diminuindo a dependência de energia não renovável, fazendo uso, sempre que viável de métodos culturais, biológicos e mecânicos, frente ao uso de materiais sintéticos, a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados e radiação ionizantes, em qualquer etapa da produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização com vistas a garantir a proteção do meio ambiente (BRASIL, 2003).

Belarmino (2017), destaca que a produção orgânica de frutas é um sistema que utiliza técnicas voltadas à mitigação de impactos negativos ao meio ambiente, evitando o uso de agrotóxicos no controle de pragas e doenças, assim como adubos químicos de alta solubilidade,

como sulfato de amônia, uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio. A produção orgânica não permite o uso de produtos quimiossintéticos, nem de sementes transgênicas. Se propondo a ser uma alternativa à agricultura convencional e às cadeias alimentares, fundamentando-se em princípios e valores compostos por: I) saúde: a agricultura orgânica deve sustentar e melhorar a saúde do solo, das plantas, dos animais e dos seres humanos como um todo indivisível; II) ecologia: a agricultura orgânica deve se basear em sistemas ecológicos vivos e ciclos, trabalhar com eles, emulá-los e ajudar a sustentá-los; III) justiça: a agricultura orgânica deve se basear em relacionamentos que garantam justiça em relação ao ambiente comum e às oportunidades de vida; IV) cuidado: a agricultura orgânica deve ser gerida de forma prudente e responsável para proteger a saúde e o bem-estar das gerações atuais e futuras, bem como do meio ambiente (DARNHOFER et al., 2011).

O papel da agricultura orgânica compreende desde a produção, o processamento, a distribuição, até o consumo, com vistas a garantir a sustentabilidade e a saúde dos ecossistemas e organismos que o compõem (CAVALCANTE et al., 2024). As noções e princípios da produção orgânica, nesse sentido, são moldados e influenciados por uma junção de conhecimentos, técnicas, saberes e práticas dispersas que respondem às condições ecológicas, econômicas, técnicas e culturais de cada geografia e de cada população (LUZZI, 2007). Atestadas pelas certificações, vigentes no sistema brasileiro de produção orgânica, na qual, os selos de qualidade juntamente à marca específica de cada produtor indicam a concordância com as diretrizes, que são garantidas por certificadoras credenciadas. Evidenciando que para se tornar um agricultor orgânico, deve-se passar por um rigoroso processo de avaliação das condições ambientais da propriedade agrícola e de seu potencial para a produção (FORTALEZA et al., 2016).

Fazendo desses conjuntos de princípios, aspectos técnicos e culturais de produção um indicativo de oportunidade de desenvolvimento para uma agricultura sustentável. Nesse sentido, em âmbito econômico, a agricultura orgânica é um sistema intensivo no uso de mão de obra passível de gerar economicidade (MORAES; OLIVEIRA, 2017). Adicionalmente, a entrada de insumos externo em propriedades agrícolas que adotam esse modo de produção é menor frente ao sistema hegemônico, o que contribui para produtores com capital financeiro limitados. Haja visto, a eliminação de todos os fertilizantes e defensivos agrícolas sintéticos, dando lugar a opções biológicas, tornando menor a dependência de insumos intermediários (BELARMINO, 2017). Pergola et al. (2013) relatam que o sistema orgânico de laranja apresenta um custo de produção menor em relação ao sistema convencional em termos de custo

por hectare, embora o custo por tonelada seja maior. Evidenciando que o sistema orgânico é capaz de gerar retornos positivos, mesmo com um menor uso de insumos, proporcionando maior agregação de valor e inovação no processo produtivo (BELARMINO, 2017). Ademais, a agricultura orgânica tem o potencial de impulsionar a economia local, devido à maior demanda por insumos que podem ser produzidos na própria região. Por requerer um controle mais rigoroso, a produção orgânica pode elevar os padrões de gestão e qualidade das pequenas propriedades agrícolas, tornando-as mais eficientes (MORAES; OLIVEIRA, 2017).

O desdobramento ambiental das premissas da produção orgânica por não fazer uso de fertilizantes sintéticos, agroquímicos e organismos geneticamente modificados, contribuem para a mitigação dos impactos negativos no ar, solo e água e otimiza a saúde e a produtividade das comunidades interdependentes de plantas, animais e seres humanos (SILVA et al., 2019). Práticas que otimizam nutrientes, como no estudo de Fortaleza et al. (2016), o qual, a adubação utiliza métodos de enriquecimento de área com espécies de plantas que mobilizam fósforo, e minimizam riscos, com a diversidade de culturas e a combinação de criações de animais e de plantas que auxiliam na fixação de nitrogênio por simbiose, que usam esterco animal orgânico e o controle biológico de pragas, adaptam o sistema orgânico aos aspectos específicos do local e as suas limitações (FORTALEZA et al., 2016; SILVA et al., 2019). Os mesmos autores ressaltam que os sistemas orgânicos possuem excelente capacidade de drenagem e retenção de água, reduzindo o risco de enchentes e secas. O carbono é sequestrado no solo e na biomassa das plantas, favorecendo o habitat da vida selvagem e funcionando em sinergia com o sistema de cultivo.

O solo gera árvores que produzem frutos com diferentes características para o sistema orgânico. Os frutos oriundos do sistema orgânico, quanto a uma avaliação física da espécie laranja Pêra, apresentam menor tamanho, em relação ao comprimento, diâmetro e massa fresca devido a influência de aspectos edafoclimáticos e genéticos como fornecimento de nutrientes, especialmente o nitrogênio, a posição do fruto no broto e a competição entre os órgãos em desenvolvimento (COELHO et al., 2019). Nos teores de suco, Coelho et al. (2019) mencionam que potencial Hidrogeniônico (pH) do suco de laranja Pêra não apresentou diferença significativa entre os cultivos orgânico e convencional. A acidez titulável, expressa em ácido cítrico, alcança valores de 0,611 gramas por 100 mililitros no cultivo orgânico, constatando frutos orgânicos doces. De modo geral, para a laranja Pêra, nota-se que o manejo levou a redução do tamanho dos frutos e da massa, maior rendimento de suco, além de impactarem diretamente na coloração da polpa (COELHO et al., 2019). A produção orgânica apresenta

menor impacto para o aquecimento global com redução de 69% frente a convencional (PERGOLA et al., 2013). Os mesmos autores mencionam existir menor consumo de energia na produção orgânica (28% a menos). Por conseguinte, Juraske e Sanjuán (2011) mencionam que a produção orgânica apresenta os menores níveis de toxicidade para humanos e ecotoxicidade em água doce, frente ao sistema integrado de produção de laranja, devido ao uso limitado de pesticidas e à utilização de alternativas menos tóxicas, como o óleo mineral branco. Adicionalmente, a produção orgânica apresenta menor pegada ambiental frente a produção convencional nas categorias de impacto acidificação terrestre, degradação do ozônio estratosférico e formação de ozônio tanto por unidade de área quanto por unidade de massa, isso é atribuído ao uso reduzido de insumos poluentes, como fertilizantes químicos e pesticidas (BEN ABDALLAH et al., 2023).

A conjuntura de fatores relacionados aos aspectos de cultivo e impactos econômicos transcendem suas configurações e se internalizam no modo de vida daqueles envolvidos com a produção orgânica. Tornando-a uma atividade de diversificação produtiva e de inclusão social, por meio da ampliação de acesso ao mercado consumidor como também reforça o papel da agricultura familiar na produção de alimentos mais saudáveis e em sintonia com a preservação dos recursos naturais. As oportunidades de equidade de gênero são ressaltadas, uma vez que as mulheres ocupam papel de liderança para as suas famílias tanto na produção como no consumo de frutas e legumes (NACHTIGAL et al., 2021). A diversificação na produção de frutas é uma alternativa para a geração de renda agrícola para a agricultura familiar, além de fornecer alimento com inúmeras propriedades nutricionais ao longo do ano. Porém, é preciso destacar que, no cultivo de base ecológica e diversificado, a saúde ambiental e humana é mais importante do que o rendimento físico das diferentes frutas produzidas. Essa filosofia de produção tem reflexos diretos na qualidade e no bem-estar do agricultor e de todos aqueles que consomem essas frutas (NACHTIGAL et al., 2021).

A geração tecnológica e a adaptabilidade do sistema produtivo orgânico beneficiam as potencialidades da agricultura familiar. Isso tem sido evidente no desenvolvimento da agricultura orgânica, que ocorre com grande influência do conhecimento local nas práticas adotadas (PANDAY et al., 2024). Essa situação tem promovido a recuperação da biodiversidade, abrangendo desde programas de sementes crioulas até o resgate de componentes culturais e técnicas tradicionais. Com isso, processos essenciais, como o fortalecimento da autoestima dos agricultores e o empoderamento das comunidades locais, são impulsionados, apontando para um futuro promissor (MORAES; OLIVEIRA, 2017).

Evidenciando que o sistema de produção orgânico fornece boas oportunidades de produção sustentável para pequenos cultivos de citrus, uma vez que os aspectos sociais, econômicos e ambientais estão cada vez mais relevantes ao se pensar sistemas de produção, além dos produtos apresentarem um forte vínculo com os saberes tradicionais dos agricultores.

3.2. Produção convencional de laranja

Os sistemas de produção agrícola passaram por diversas revoluções que visavam maximizar a exploração do meio ambiente e aumentar a demanda por trabalho. Nos anos 1960, o uso do solo sofreu mudança exponencial em suas características. Naquele momento, a industrialização passou a exigir, de forma cada vez mais acentuada, mudança nas bases técnicas da agricultura brasileira, incorporando em seu funcionamento um pacote tecnológico que pressupunha a utilização de máquinas, fertilizantes e defensivos químicos, bem como assistência técnica e suporte financeiro públicos, visando a elevação da produtividade (MATHEUS, 2016). Esse conjunto de medidas é conhecido como revolução verde, responsável pela modernização conservadora da agricultura brasileira, definida por forte expansão da produção agrícola gerando profunda diversificação do espaço rural, com alguns produtores rurais alcançando um modelo de integração competitiva, enquanto outros aprofundaram a situação de marginalidade e degradação de sua autonomia (FAVARETO; RODGERS, 2006).

A agricultura convencional está em constante modernização, com a incorporação de novas tecnologias que impulsionam o crescimento econômico, mas também trazem impactos ao meio ambiente (MEENA et al., 2024). A agricultura convencional de laranja é caracterizada por não possuir configuração definida e legislação específica, além disso, busca pela alta produtividade por meio do uso intensivo de insumos externos, como fertilizantes químicos e agrotóxicos. A curto prazo, essa prática gera resultados econômicos visíveis, como o aumento da eficiência e da produção agrícola. Inicialmente, esse incremento na produtividade pode contribuir para a redução da migração rural e melhorar a distribuição de renda no campo (SILVA et al., 2019). No entanto, a longo prazo, esse modelo de produção causa danos ambientais, pelo uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos, que podem causar contaminação no solo, na água e no ar (JURASKE; SANJUÁN, 2011), que geralmente não são considerados pelos agricultores convencionais. O uso crescente de tecnologias substitui gradualmente a mão de obra, contribuindo para a redução de empregos no setor agrícola (SILVA et al., 2019). Esse sistema contribui para a resistência de pragas e o aumento das emissões de dióxido de carbono na atmosfera (MEENA et al., 2024). Vale destacar que a agricultura é responsável por 23% das

emissões globais de dióxido de carbono (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2022).

A Lei nº. 14.785 de 2023 qualifica agrotóxico como um produto químico utilizado no controle de pragas, doenças e plantas daninhas, que visa proteger cultivos agrícolas. Sendo substâncias aplicadas em organismos vivos considerados nocivos. Eles podem ser melhorados com aditivos, que aumentam sua eficácia, durabilidade ou estabilidade, e adjuvantes, que facilitam sua aplicação. Além disso, agrotóxicos podem ser complementados com agentes biológicos de controle, organismos vivos que ajudam no controle natural das pragas (BRASIL, 2023). A partir de uma economia pautada em commodities, o uso de agrotóxicos aumentou consideravelmente, tornando o país o maior mercado do mundo. Entre 2010 e 2020 o aumento foi de 78,30% na quantidade de agrotóxico comercializado, saindo de pouco mais de 384 mil toneladas para 685 mil, aproximadamente (HESS; NODARI, 2022). Como consequência disso, o Programa de Análise de Resíduo de Agrotóxico em Alimentos constatou que em 28% de 4 mil amostras analisadas há irregularidades no uso de agrotóxicos (SAMBUICHI et al., 2012). Os danos relacionados à saúde humana, como o surgimento de doenças, o desequilíbrio ambiental e o aparecimento de novas pragas, doenças e plantas daninhas, são frequentemente ocultados pelo aumento da produtividade nas lavouras. O uso de agrotóxicos atrasa a adoção ou continuidade de práticas ecológicas nos sistemas convencionais de produção agrícola, representando outro impacto negativo significativo (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018). Adicionalmente, os mesmos autores constataam que tanto o contato direto quanto o indireto, por meio da exposição contínua ou do consumo de alimentos contaminados por resíduos de agrotóxicos e metais pesados, podem causar danos à saúde reprodutiva e ao sistema imunológico, além de contribuir para o desenvolvimento de doenças não transmissíveis, como o câncer.

As características supramencionadas dão a base para a produção convencional em larga escala de laranja em território nacional acrescido por um período de crise no ano de 1962 quando acontece a quebra na produção citrícola da Flórida, a região com maior produção de laranja a época, devido à forte geada que devastou seus pomares (DE LIMA FERNANDEZ PEREIRA, 2008), dando espaço ao Brasil que anos depois passaria a ser o principal produtor de laranja do mundo (FAO, 2024). Configurado pelo uso intensivo de insumos químicos, incluindo fertilizantes sintéticos, pesticidas e herbicidas, com o objetivo de maximizar a produtividade e controlar pragas e doenças (BOSCHIERO et al., 2023). Tornando o cultivo convencional de laranja fortemente dependente de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e

potássicos para promover o crescimento rápido das plantas e aumentar a produtividade (BONALES-REVUELTA et al., 2022). O controle de pragas e doenças é feito com pesticidas e fungicidas químicos que garantem a saúde das plantas, mas trazem consequências ambientais devido ao acúmulo de resíduos químicos no solo e em cursos de água (DHULDHAJ; SINGH; SINGH, 2022). Para garantir altos rendimentos, a irrigação é amplamente utilizada, especialmente em regiões com baixa precipitação. Isso resulta em uma alta demanda de água, o que causa esgotamento dos recursos hídricos locais (FARES et al., 2017). A produção convencional de laranja se configura pelo sistema de monocultura, embora isso aumente a eficiência operacional, resulta no esgotamento de nutrientes do solo e no aumento da vulnerabilidade a pragas e doenças, que, por sua vez, demandam mais pesticidas (DE LUCA et al., 2023). O uso intensivo de fertilizantes e pesticidas contribui significativamente para a poluição ambiental, causando degradação do solo, contaminação de águas subterrâneas e superficiais, e emissão de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono e o óxido nitroso, este último resultante da aplicação de fertilizantes nitrogenados (MEENA et al., 2024). Apesar disso, um dos principais pontos positivos da agricultura convencional é a alta produtividade. O uso de tecnologias avançadas e de insumos agrícolas modernos permite que os produtores de laranja atendam à demanda crescente do mercado de forma eficiente (BELARMINO, 2017).

A crescente complexidade da segurança alimentar e nutricional, associada à qualidade dos alimentos, demanda abordagens eficazes para priorizar os riscos específicos relacionados aos resíduos de agrotóxicos presentes nos alimentos, além de exigir a criação de mecanismos de proteção voltados para a população consumidora (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018). As causas para o uso demasiado de agrotóxicos e os riscos de contaminação humana e ambiental observados no Brasil estão associadas aos problemas sociais encontrados no meio rural, como o desrespeito às normas básicas de segurança, a livre comercialização e a pressão por parte das empresas que comercializam esses produtos (WAICHMAN, 2012). Os alimentos abacaxi, alface, arroz, alho, batata-doce, beterraba, cenoura, chuchu, goiaba, laranja, manga, pimentão, tomate e uva equivalem a 30,89% do que é consumido habitualmente pela população brasileira, com coleta de dados representando todo o território nacional, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) analisou e constatou que, cinco alimentos apresentaram amostras com possibilidade de risco agudo para a saúde humana, sendo: abacaxi, batata-doce, goiaba, laranja e uva. A laranja foi o alimento com o maior número de amostras em que foi detectado risco agudo (ANVISA, 2014).

Evidenciando que além de não contribuir para uma produção sustentável, os aspectos da produção convencional de alimentos, em especial para a laranja, causam insegurança alimentar e nutricional devido aos níveis preocupantes de resíduos de agrotóxicos nos alimentos.

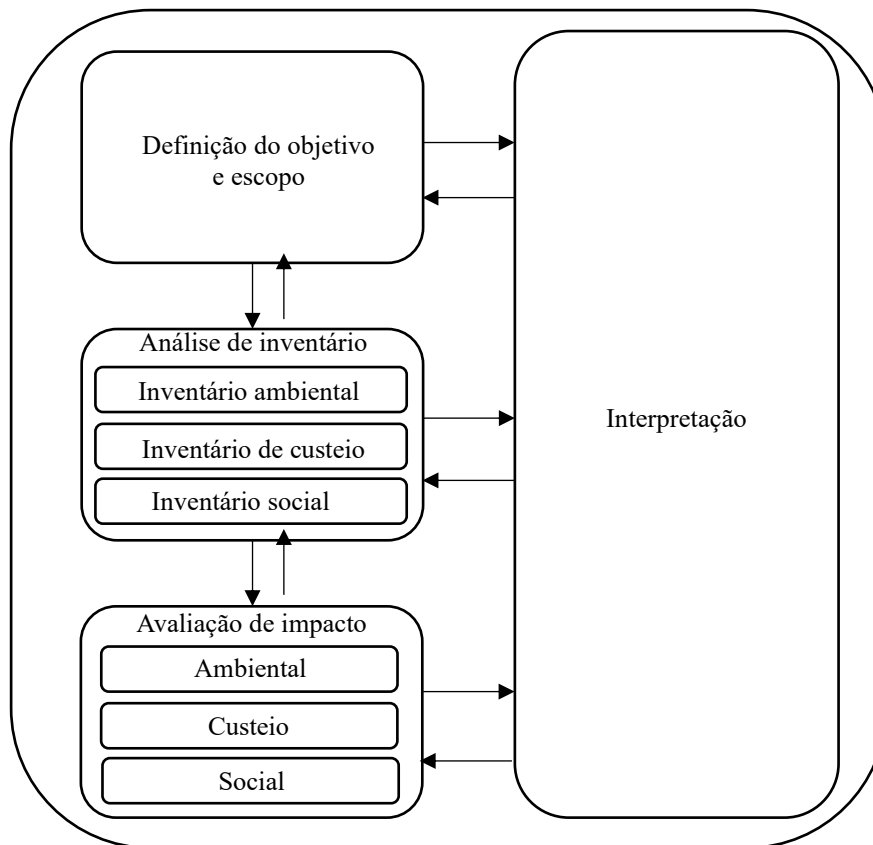
3.3. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida

A avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida (ASCV) é um método em desenvolvimento. O termo *life cycle sustainability assessment* (LCSA), em tradução livre, avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida foi utilizado pela primeira vez em 2007 (COSTA; QUINTEIRO; DIAS, 2019). Desde então, o número de artigos científicos sobre avaliação da sustentabilidade tem aumentado significativamente, entre 2013 e 2023 o crescimento foi de 466,66%, saindo de 18 artigos publicados para 84 (SCOPUS, 2024), graças aos esforços da comunidade científica em tornar o método mais aplicável e padronizado. A partir de 2015 o número de estudos publicados somente aumentou, com destaque para o aumento de estudos de caso (SCOPUS, 2024).

A tendência atual é realizar uma avaliação abrangente dos bens e serviços no contexto do desenvolvimento sustentável. A combinação do pensamento do ciclo de vida com os três pilares da sustentabilidade busca obter uma visão global dos impactos associados à produção de bens e execução de serviços (HUYSVELD et al., 2021). Neste sentido, a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida oferece uma compreensão mais holística, pois abrange aspectos ambientais, de custeio e sociais de todo o ciclo de vida dos produtos ou serviços (MUTHU, 2021). A aplicação do pensamento do ciclo de vida aos pilares da sustentabilidade proporciona uma maneira de incorporar o desenvolvimento sustentável nos processos de tomada de decisão (HUYSVELD et al., 2021).

O desenvolvimento de um estudo de avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida pressupõe considerar a avaliação ambiental, social e de custeio do ciclo de vida, dentre as três abordagens do ciclo de vida a avaliação ambiental e social possuem diretrizes e uma norma norteadora, a *International Organization for Standardization* 14.040 (ISO, 2006) e 14.075 (ISO, 2024), nesse sentido, a literatura enfatiza ao considerar que a aplicação da avaliação de sustentabilidade deve seguir as normas padronizadas existentes para avaliação ambiental do ciclo de vida, tanto a supramencionada quanto a ISO 14.044 (MUTHU, 2021). Dessa forma deve seguir as seguintes fases as quais são iterativas (ISO, 2006), conforme a Figura 2.

Figura 2 - estrutura de trabalho avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida



Fonte: adaptado Muthu (2021).

- I. Definição do objetivo e escopo: no objetivo devem estar declarados a aplicação pretendida para o estudo, as razões para sua execução, o público-alvo e se existe a intenção de divulgar os resultados publicamente (ISO, 2006; ISO 2006b). No escopo, o sistema do produto estudado é identificado e definido em detalhes, contendo sua função, unidade funcional e fluxo de referência e os limites do sistema. Ademais, são estabelecidos os requisitos metodológicos, de qualidade dos dados, relatórios e necessidade de revisão do estudo de acordo com os aspectos definidos no objetivo (ISO, 2006; ISO 2006b).
- II. Análise de inventário do ciclo de vida (ICV): que implica na construção do modelo do ciclo de vida, onde são calculadas as entradas e saídas produzidas e utilizadas durante seu processo (ISO, 2006).
- III. Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV): abrange a análise dos resultados do inventário associando-os a determinadas categorias de impactos específicas (ISO 2006b).
- IV. Interpretação dos resultados: as constatações do inventário e da avaliação do impacto são consideradas em conjunto.

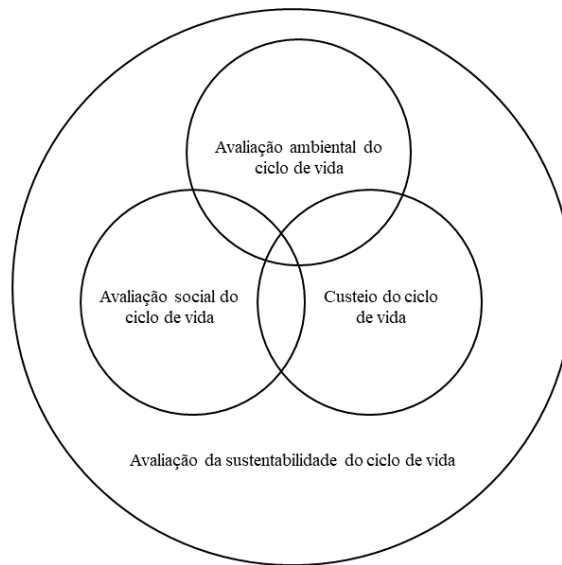
A estrutura estabelecida pelas normas ISO (2006) permite que diversas metodologias sejam propostas para o desenvolvimento da ASCV. Costa, Quinteiro e Dias (2019) em uma revisão sistemática de literatura identificam 144 artigos publicados até 2018, constatando que a ASCV como soma teórica é a abordagem mais utilizada, superior em 57,68 pontos percentuais frente a outras alternativas. Isso se dá por sua facilidade de aplicação, já que se baseia em metodologias já desenvolvidas e empregadas individualmente (COSTA; QUINTEIRO; DIAS, 2019). Em igual sentido, Muthu (2021), expressa que quando o estudo Brundtland (UNITED NATIONS, 1987) introduziu as concepções de desenvolvimento sustentável, uma nova estrutura de trabalho foi definida para o crescimento econômico, inclusão social e conservação ambiental. A interpretação do tripé da sustentabilidade, é uma configuração amplamente aceita pela comunidade científica, indústria e sociedade civil.

Uma vertente da academia compreende que as abordagens do ciclo de vida devem ser interpretadas e executadas a luz de integração dos dados, mesmo contrariando Kloeppfer (2008), que não recomenda a ponderação dos resultados dos três pilares em um único indicador de sustentabilidade, pois isso pode aumentar o grau de incerteza na análise. No entanto, devido à complexidade da avaliação de sustentabilidade e à necessidade de fornecer direcionamento para um futuro sustentável. As abordagens de multicritério para a tomada de decisão têm sido as ferramentas mais utilizadas em pesquisas relacionadas à sustentabilidade (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014), se ramificando em pesquisas que envolvem modelos baseados em valor ou de medição de valor, que expressam o valor aditivo como uma pontuação numérica usando normalização e ponderação. Bem como, modelos baseados em distância, que medem o quão bem as alternativas avaliadas cumprem um conjunto de metas. E, modelos de superação, que fornecem uma classificação parcial ou completa das alternativas com base em comparações par-a-par dentro de cada critério (HUYSVELD et al., 2021).

Huysveld et al. (2021) mencionam que a tomada de decisão na ASCV frequentemente envolve a consideração de múltiplos critérios, às vezes conflitantes, para avaliar alternativas, e o fato de que se esforça para incluir as preferências das partes interessadas adiciona complexidade a todo o processo. Nesse sentido, métodos de tomada de decisão multi-atributo e multi-objetivo são úteis, pois são desenvolvidos para enfrentar tais complexidades.

A Figura 3 é passível de ilustrar a integração das abordagens do pensamento do ciclo de vida.

Figura 3 - abordagem de integração do ciclo de vida



Fonte: adaptado Muthu (2021).

Huysveld et al. (2021) em um relatório crítico de orientação sobre a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida analisa diferentes métodos de integração, classificando em três grandes vertentes, relatadas no Quadro 2.

Quadro 2 - métodos de integração para ASCV

<i>Grupos de integração</i>	<i>Métodos de integração</i>		
Métodos de integração entre domínios de sustentabilidade para avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida	<i>Multi-Criteria Decision Analysis methods</i>	<i>Decision</i>	<i>Simple Average Weighting (SAW)</i>
			<i>Analytical Hierarchy Process (AHP)</i>
			<i>Multi-Attribute Value/Utility Theory (MAVT/MAUT)</i>
			<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)</i>
			<i>Elimination And Choice Translating Reality (ELECTRE)</i>
			<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment of Evaluations (PROMETHEE)</i>
			<i>Multi-criteria Optimization and Compromise Solution (VIKOR)</i>
	<i>Multi-Objective Making</i>	<i>Decision</i>	Não consta
	<i>Data Envelopment Analysis (DEA)</i>	<i>Envelopment</i>	Não consta

Métodos de integração com uma abordagem promissora de visualização para avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida	<i>Life Cycle Sustainability Dashboard</i> <i>SEEBalance © method</i>	Não consta	Não consta
Outros métodos de agregação ou subprocedimentos comumente usados nos domínios ambiental, social e econômico	Domínio ambiental (ACV- ambiental) Domínio social (ACV- social) Domínio econômico (CCV)	<i>Environmental aggregation approaches</i> <i>Product Environmental Footprint (PEF) approach</i> <i>Aggregation in the reference scale approach</i> <i>Aggregation in the impact pathway approach</i>	Não consta

Fonte: adaptado Huysveld et al. (2021).

A partir do estabelecimento de uma comparação dos métodos de agregação mapeados pelo estudo supramencionado, é possível ilustrar vantagens e desvantagens dentre esses métodos. Elucidando os métodos de decisão multicritério, nesse sentido, os modelos de medição de valor, como SAW, AHP, e MAVT/MAUT são bem fundamentados teoricamente, permitem a atribuição de pesos com base em preferências de partes interessadas, e podem integrar dados quantitativos e qualitativos. No entanto, a atribuição de pesos pode introduzir subjetividade, e o método requer um conjunto robusto de dados para ser eficaz (NERMEND, 2023). Para o modelo de referência, exemplificado com TOPSIS e VIKOR, as vantagens são na identificação de alternativas próximas à solução ideal, com uma abordagem clara para lidar com múltiplos critérios. As limitações se elucidam pela forte dependência da definição precisa do ideal e do não ideal, o que pode ser desafiador em sistemas complexos (KAUR; GUPTA; DHINGRA, 2023; MARTINS et al., 2021). Os modelos de ordenação como PROMETHEE, ELECTRE, são adequados para problemas complexos com múltiplos critérios e permitem a análise de preferências com mais flexibilidade, mas são limitados por ser computacionalmente intensivos e difíceis de interpretar para um público mais amplo (BRANS; DE SMET, 2016).

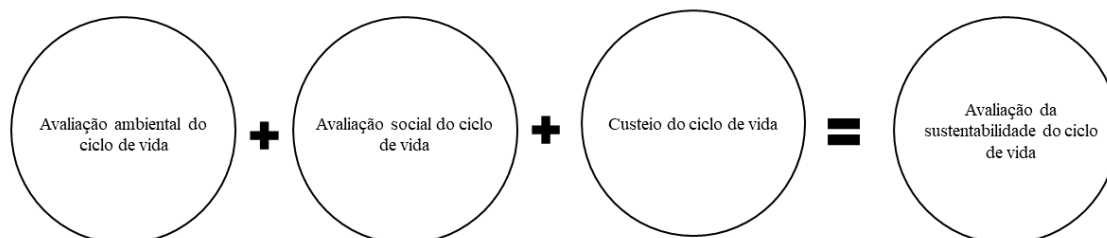
Os métodos de análise de dados *envelopment* (DEA) avaliam a eficiência relativa de alternativas sem necessidade de dados predefinidos, configurando sua vantagem. As limitações residem na consideração apenas de dados quantitativos e não observa diretamente informações qualitativas (HUYSVELD et al., 2021). A integração visual e métodos promissores é elucidada por meio do *dashboard* de sustentabilidade como o SEEBalance e o *Life Cycle Sustainability*

Dashboard, que fornecem representações visuais compreensíveis para comunicar resultados complexos, mas são limitados por simplificar excessivamente informações detalhadas e exigir interpretação cuidadosa para evitar equívocos (ZORTEA; MACIEL; PASSUELLO, 2018). E a abordagem de pontuação única, exemplificada pelo *Product Environmental Footprint* (PEF), cuja qual facilita a comunicação clara ao condensar resultados em uma única métrica compreensível. Assim como nos demais métodos, há risco de perda de nuances importantes e maior subjetividade no processo de agregação.

Apesar da existência de diversos métodos de integração para a avaliação da sustentabilidade, cada método apresenta desafios específicos e limitações na sua aplicação prática, especialmente quando se tenta abranger os três pilares da sustentabilidade (HUYSVELD et al., 2021). Em particular, métodos como a ponderação monetária e a ponderação por distância até a meta enfrentam dificuldades significativas em termos de aplicabilidade e robustez científica, principalmente devido à complexidade de integrar dados sociais e econômicos de maneira confiável (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014). Além disso, a aceitação e a adequação dos métodos variam, com alguns sendo mais amplamente aceitos no domínio ambiental, mas enfrentando desafios ao serem aplicados de forma abrangente nos três domínios (VISENTIN et al., 2020).

A vertente da ASCV como soma das abordagens ambiental, custeio e social do ciclo de vida foi estabelecida por Kloepffer (2008), posteriormente aprimorada como apresentado por Muthu (2021) pela Figura 4, a seguir:

Figura 4 – estrutura de trabalho somatória das abordagens do ciclo de vida



Fonte: adaptado Muthu (2021).

Essa abordagem compreende os três métodos de avaliação do ciclo de vida individualmente, baseado em suas metodologias próprias (MUTHU, 2021). Sua finalidade é proporcionar uma avaliação combinada de um sistema de produto, na qual, seus resultados evidenciam os impactos negativos e os benefícios oriundos do sistema de produto analisado (COSTA; QUINTEIRO; DIAS, 2019), de modo que cada um utilize suas metodologias específicas. Com o avanço da metodologia social (TRAVERSO et al., 2021), aliado ao desenvolvimento mais consolidado do CCV (CIROTH et al., 2008) e da ACV-ambiental (GUINÉE, 2002), foram realizadas as primeiras aplicações da estrutura ASCV (KLOEPFFER, 2008), nos estudos de Cirotth e Franze (2011) e Franze e Cirotth (2011). A ASCV se destaca como uma abordagem promissora para desenvolver avaliações robustas, transparentes e abrangentes (MUTHU, 2021).

A ACV-ambiental, o CCV e a ACV-social possuem objetivos distintos, o que deve ser considerado ao combiná-los. Contudo, recomenda-se que, na ASCV, o objetivo e o escopo sejam unificados, respeitando as diferenças entre as abordagens (HACKENHAAR et al., 2024). É fundamental definir claramente o objetivo e o escopo do estudo para orientar a aplicação final da ASCV – seja para comparar produtos, processos ou empresas, ou para identificar oportunidades de melhoria (TROULLAKI; ROZAKIS; KOSTAKIS, 2021). Adicionalmente, Kloeppfer (2008), estabelece que são essenciais para a utilização dessa abordagem manter os limites do sistema e o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) idênticos para as três vertentes de análise. Muthu (2021), da mesma forma, enfatiza a importância de manter os mesmos limites,

uma vez que os limites dos três métodos devem abranger todos os processos relevantes para pelo menos uma das abordagens da ASCV, e qualquer exclusão de estágio ou processo unitário deve ser devidamente justificada.

Porém, a dificuldade de obtenção de dados comuns para as três vertentes pode levar à simplificação das fronteiras do sistema, negligenciando impactos importantes em alguma das esferas (COSTA, 2023). Dessa forma, Muthu (2021), constata a flexibilização dessas fronteiras para adaptar a ASCV às características e necessidades específicas de cada estudo. Essa variação nos limites se explica pelas diferenças nas unidades de processo entre as dimensões da sustentabilidade, já que os impactos ambientais são medidos pelas trocas com o meio ambiente, enquanto os impactos sociais são avaliados com base no gerenciamento das empresas dos recursos humanos (HACKENHAAR et al., 2024). Para o custeio do ciclo de vida, Ciroth et al. (2008), adotam o conceito de fronteiras do sistema equivalentes, não necessariamente idênticas, para os estudos de CCV realizados em paralelo à ACV-ambiental. Assim, se um processo elementar for relevante para o CCV, mas não para a ACV-ambiental, ele pode ser excluído desta última, mantendo seus custos contabilizados no CCV.

Os resultados das três avaliações devem ser interpretados de forma integrada, considerando o objetivo e o escopo definidos para a ASCV, e levando em conta a qualidade dos dados, suas características e a capacidade de atender aos requisitos declarados (COSTA, 2023). Apresentar os resultados de maneira clara, permitindo a comparação entre produtos ou serviços semelhantes e o apoio à tomada de decisão, é um desafio (MUTHU, 2021). Esses resultados podem esclarecer se há compensações entre os benefícios econômicos e os encargos ambientais ou sociais, identificar quais estágios do ciclo de vida e subcategorias de impacto são mais críticos e indicar se o produto é social, econômico e ambientalmente sustentável (KLOEPFFER, 2008). Evidenciando a necessidade de estudos que tenham a abordagem de soma teórica como um dos seus fins, adicionalmente, é necessário o desenvolvimento contínuo para aprimorar esse método e torná-lo mais aplicável e confiável para avaliação de sustentabilidade completa. A escolha do método de integração depende do contexto específico, a partir do objetivo da análise e o público-alvo. Enquanto métodos quantitativos oferecem precisão, métodos qualitativos e visuais facilitam a comunicação e a compreensão para partes interessadas diversas. Para alcançar equilíbrio entre transparência, operacionalidade e robustez científica na presente dissertação se fará uso da soma teórica.

No que pese as dificuldades, o método de soma teórica para a sustentabilidade do ciclo de vida é capaz de fornecer uma avaliação abrangente dos impactos associados a produtos e

serviços ao longo de todo o seu ciclo de vida, considerando aspectos de custeio, ambientais e sociais (COSTA, 2023). A abordagem somatória permite apoiar decisões que promovam o desenvolvimento sustentável, pois permite identificar compensações entre diferentes critérios de sustentabilidade (BEN ABDALLAH et al., 2023). Sob essas prerrogativas a soma teórica se mostra como a mais relevante para o alcance dos objetivos traçados, fundamentado no estudo de Muthu (2021), para subsidiar os resultados oriundos da avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida aplicadas à produção orgânica de laranja.

3.3.1. Avaliação ambiental do ciclo de vida (ACV-ambiental)

A ACV-ambiental é a mais difundida e aplicada das três vertentes da sustentabilidade. Ela tem sido utilizada, desenvolvida e aprimorada por mais de 30 anos (CURRAN, 2012). Esta ferramenta avalia o desempenho de um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida, considerando os aspectos e possíveis impactos ambientais (ABNT, 2014b, 2019).

A avaliação do ciclo de vida tem sido amplamente utilizada para avaliar os impactos ambientais em sistemas de produção (FINNVEDEN, 1999; HOSSAIN; POON, 2018). Sendo adotada como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão (BAIS-MOLEMAN et al., 2018; MORRIS, 2017; MERCANTE et al., 2012). Em igual sentido, Lausset et al. (2016) destacam que a avaliação do ciclo de vida é uma técnica que tem sido amplamente utilizada para investigar o desempenho ambiental dos sistemas de produtos. E ainda, uma abordagem de avaliação do ciclo de vida contribui com a identificação de opções ambientalmente amigáveis (NANDIMANDALAM; GUDE; MARUFUZZAMAN, 2022).

Isso se deve ao fato de que a ACV-ambiental fornece informações valiosas sobre alternativas para sistemas produtivos com vistas a mitigar os impactos ambientais, auxiliando na tomada de decisões sob uma perspectiva holística dos impactos ambientais (GUINÉE, 2002). Suas aplicações incluem a avaliação dos benefícios e a compreensão de um sistema de produção agrícola existente (BEN ABDALLAH et al., 2022), a melhoria dos sistemas produtores de alimentos atuais (BUSTOS; CAPRETTINI; PONTICELLI, 2016), a comparação do desempenho de tecnologias alternativas, o desenvolvimento de novas tecnologias, a formulação de políticas estratégicas e a elaboração de relatórios de impacto (OLIVEIRA et al., 2021).

Apesar de ser um método bem desenvolvido e haver consenso quanto à sua aplicação na produção agrícola, ainda existem desafios a serem superados como melhor representatividade de sistemas orgânicos de cultivo (VAN DER WERF; KNUDSEN; CEDERBERG, 2020), pois a avaliação ambiental do ciclo de vida de produtos agrícolas

frequentemente considera apenas uma função de um sistema agrícola: a provisão e processamento de biomassa para produzir alimentos, fibras ou bioenergia. Ao representar sistemas agrícolas de maneira limitada, essa abordagem baseada em produtos contrasta fortemente com as estruturas de trabalho conceituais que se concentram na multifuncionalidade da agricultura e na provisão de uma ampla gama de serviços ecossistêmicos (VAN DER WERF; KNUDSEN; CEDERBERG, 2020).

Os estudos envolvendo a produção de laranja utilizam quatro tipos principais de unidade funcional: (a) produção: definido por uma medida produtiva, por exemplo, a produção de 1 tonelada de laranja (*in natura*); (b) baseado na geração de resíduos: definido pela geração de resíduos em um determinado processo produtivo, e.g., bagaço da laranja; (c) baseado em área: definido pelas quantidades de laranja produzido em um determinado espaço, nesse sentido, hectare de área plantada de laranja; (d) baseado em subprodutos: definido pelos subprodutos residuais, como a quantidade de fibra alimentar solúvel concentrada, pectina e biodiesel (FALCONE et al., 2024). No caso de sistemas agrícolas orgânicos, é essencial incluir especificações locais e quaisquer aspectos relevantes para garantir a comparabilidade dos sistemas, como características do sistema produtivo, os procedimentos operacionais e a infraestrutura adotada (VAN DER WERF; KNUDSEN; CEDERBERG, 2020). A maioria dos estudos existentes considera 1 hectare de área plantada de laranja como unidade funcional.

Usualmente, dentro do escopo dos estudos de ACV-ambiental, os estágios do ciclo de vida incluem os sistemas produção e transformação, transporte e pós-colheita, produção e consumo, gestão de resíduos, distribuição e uso de resíduos. O aspecto do escopo dos estudos relacionados à produção de laranja é evidenciado pelo Quadro 3, retratado abaixo (BOSCHIERO et al., 2023; KOBLIANSKA; KALACHEVSKA; SCHLAUDERER, 2024).

Quadro 3 - escopo dos estudos de ACV-ambiental relacionados a produção de laranja

<i>Escopo</i>	<i>Detalhamento do escopo</i>
Métodos de cultivo e escala de produção	Avaliação das práticas agrícolas (convencional vs. orgânico) e da escala de produção (pequena vs. grande escala), conforme destacado por Bonales-Revuelta et al. (2022), que menciona a categorização dos produtores de laranja no México por métodos de cultivo e escala, sublinhando a importância de entender essas variações para a análise ambiental.
Processos de produção e transformação	Inclusão dos processos desde o plantio até a colheita e as etapas subsequentes de transformação, como a produção de suco, seguindo a orientação de Beccali et al. (2010), que foca nos impactos ambientais dos

	processos de produção e transformação de cítricos, indicando a necessidade de identificar problemas significativos e sugerir melhorias.
Transporte e cadeia de suprimentos	Análise do impacto do transporte nas várias etapas, incluindo a distribuição e transporte pós-colheita, conforme destacado pelo estudo de Tyszler, Kramer e Blonk (2014), que salientam a importância do transporte na pegada de carbono dos alimentos, especialmente nos estágios pós-colheita.
Valorização de resíduos	Gestão e reutilização de resíduos agrícolas, como a casca de laranja, para minimizar os impactos ambientais, conforme Mariana, Alzate e Ariel (2021), que analisa o impacto ambiental de diferentes cenários de valorização de resíduos de bagaço da laranja em biorrefinarias
Gestão de resíduos e subprodutos	Estratégias para a gestão de resíduos, como a produção de biochar ou o uso de resíduos para geração de calor, baseando-se nos estudos Negro et al. (2017), Navarro-Pineda et al. (2022) e Martinez-Hernandez et al. (2019), que focam na gestão de resíduos de laranja e suas possíveis utilizações para reduzir impactos ambientais.
Fontes de energia renovável e eficiência energética	Uso de tecnologias de energia renovável nos processos agrícolas e análise da eficiência energética, conforme o estudo Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023b), que aborda os efeitos ambientais de diferentes fontes de energia renovável utilizadas em processos de concentração de fibras dietéticas solúveis.
Comparação de tecnologias e métodos	Comparação dos impactos ambientais de diferentes tecnologias e métodos de produção e processamento, como indicado pelo estudo García-Cruz et al. (2022), que compara diferentes métodos de produção de fungicidas para identificar áreas de melhoria.
Impactos na saúde humana e ecossistemas	Avaliação dos impactos de métodos de controle de pragas na saúde humana e nos ecossistemas aquáticos, conforme o estudo de Juraske e Sanjuán (2011), que examina a toxicidade relativa de métodos de controle de pragas em ecossistemas de água doce e na saúde humana.

Os escopos delineados pelos estudos tratam de diversos aspectos da sustentabilidade na produção de laranja, abordando métodos de cultivo, convencional frente ao orgânico, a escala de produção, os processos de transformação, o impacto do transporte pós-colheita na pegada de carbono. A valorização de resíduos, como a reutilização de cascas de laranja, estratégias inovadoras para a gestão de subprodutos. A eficiência energética e o uso de fontes renováveis, assim como a comparação de tecnologias e os impactos dos métodos de controle de pragas na saúde e nos ecossistemas. Esses fatores indicam uma abordagem integrada para mitigar os potenciais impactos ambientais em todas as etapas da cadeia produtiva da laranja.

A exclusão de atividades das fronteiras do sistema pode ser feita, desde que devidamente justificada, juntamente com as consequências para a precisão e limitações das conclusões e recomendações declaradas (CURRAN, 2012). Os principais critérios de corte utilizados nos estudos de ACV-ambiental são: 1) impacto insignificante diante dos resultados gerais; 2) impacto similar na cadeia de resultados antes ou depois da entrada no sistema; 3) suposições feitas devido à falta de dados (OLIVEIRA et al., 2021).

Os impactos dos sistemas agrícolas de produção estão fortemente ligados às características locais, como a composição dos insumos, e por isso precisam ser modelados com dados que reflitam a realidade local (VAN DER WERF; KNUDSEN; CEDERBERG, 2020). Dessa forma, a ACV-ambiental muitas vezes fica limitada pela base de dados disponível, que não possuem informações específicas das regiões estudadas (CURRAN, 2012). A qualidade e a representatividade dos dados são importantes para garantir a precisão e a relevância dos resultados. Além disso, é importante considerar fatores locais específicos, como práticas de produção orgânica local, infraestrutura disponível e insumos utilizados, que podem influenciar significativamente os resultados da ACV (STILLITANO et al., 2021). A inclusão de dados locais detalhados e atualizados pode melhorar a robustez das análises e fornecer informações mais confiáveis para a tomada de decisões e o desenvolvimento de estratégias de produções sustentáveis (ESHUN; POTTING; LEEMANS, 2010).

Dados secundários são utilizados quando dados primários não estão disponíveis e sua coleta não é viável (OLIVEIRA et al., 2021). Embora o Brasil ainda não possua uma base de dados robusta, existem iniciativas como Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida, lançado em 2015 (SILVA; MASONI, 2016) que procuram alterar esse cenário. A base de dados *Ecoinvent* é a mais difundida globalmente e amplamente utilizada no Brasil. No entanto, a maioria dos dados utilizados em estudos brasileiros tem cobertura geográfica global e são adaptados para as características locais (COSTA, 2023). A *Ecoinvent* vem ampliando sua cobertura geográfica para incluir vários países em desenvolvimento, inclusive o Brasil (WERNET et al., 2016). Os mesmos autores mencionam que isso inclui a inserção de dados sobre a produção agrícola em países em desenvolvimento.

Para o cálculo do impacto ambiental, os dados de inventário devem ser correlacionados ao indicador da categoria por meio dos fatores de caracterização (CURRAN, 2012). As categorias de impacto representam as classes de problemas relevantes que podem ser provocados ou agravados pelos aspectos ambientais do produto em estudo. Essas categorias devem refletir as principais questões vinculadas ao sistema de produto estudado, de acordo com

o objetivo e escopo do estudo (ABNT, 2014a). É importante que as categorias de impacto selecionadas sejam abrangentes e específicas o suficiente para capturar todos os efeitos ambientais significativos de dada localidade.

É recomendado incluir todas as categorias de impacto relevantes, relatar e justificar quaisquer limitações com relação à cobertura de impacto na definição do escopo e ter precaução para evitar a dupla contagem (ABNT, 2014a). O uso de *software* para a realização de estudos de ACV facilita a coleta, organização e análise de dados, a modelagem de sistemas e a avaliação de emissões e seus impactos no meio ambiente. Entre os *softwares* existentes, os mais utilizados em estudos de ACV são: SimaPro, GaBi e OpenLCA (LOPES SILVA et al., 2019). Esses *softwares* permitem uma análise detalhada e precisa, ajudando a identificar áreas de melhoria e a tomar decisões informadas para a produção agrícola sustentável. Além disso, a integração de bases de dados robustas e atualizadas nesses *softwares* é crucial para garantir a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos nas avaliações (CURRAN, 2012).

3.3.2. Custeio do ciclo de vida (CCV)

O custeio do ciclo de vida (CCV) foi utilizado pela primeira vez em 1933 e ganhou popularidade nas décadas de 1960 nos Estados Unidos da América e 1970 na Europa, à medida que as autoridades perceberam que os custos de operação e manutenção de equipamentos e construções poderiam ser maiores do que o custo de investimento inicial (CIROTH et al., 2008). A aplicação do CCV permitiu uma melhor compreensão dos custos totais associados a um ativo ao longo de sua vida útil, incluindo os custos iniciais de aquisição, e os custos contínuos de operação, manutenção e eventual descarte. Este método ajudou a promover práticas mais sustentáveis e econômicas, incentivando a escolha de soluções que, embora pudessem ter um custo inicial mais alto, resultam em economias significativas a longo prazo (HOOGMARTENS et al., 2014).

Além disso, a utilização do CCV se expandiu para diversos setores, incluindo a agricultura (STILLITANO et al., 2021). Permitindo que sociedade civil, empresas e governos avaliassem o impacto financeiro de suas escolhas ao longo do tempo. Com o aumento da conscientização sobre a sustentabilidade e a eficiência econômica, a importância do CCV continua a crescer, influenciando políticas e práticas em todo o mundo (CIROTH et al., 2008).

Ciroth et al. (2008), estabelecem três abordagens para o CCV, sendo:

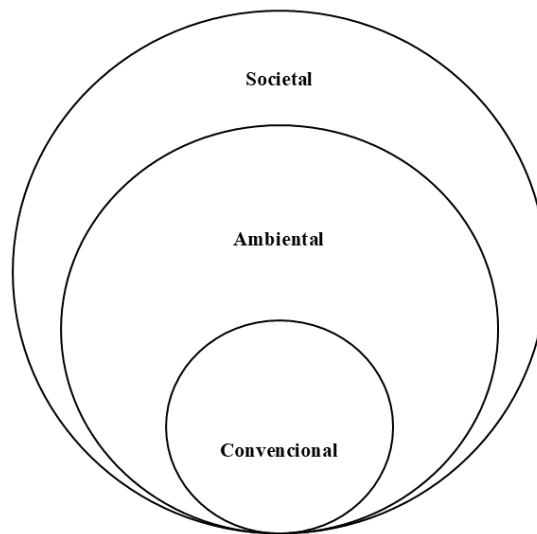
- I. Convencional: a avaliação de todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto que são diretamente arcados pelo principal produtor ou usuário ao longo do ciclo de

vida do produto. Essa avaliação foca nos custos reais e internos, sem incluir os custos de fim de vida ou de uso, caso esses sejam cobertos por terceiros. O custo do ciclo de vida (CCV) convencional geralmente não é acompanhado por resultados separados da avaliação do ciclo de vida. A perspectiva é majoritariamente de um único ator do mercado, seja o fabricante, o usuário ou o consumidor (CIROTH et al., 2008; REDDY; KURIAN; ARDAKANIAN, 2015).

- II. Ambiental: a avaliação de todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto que são diretamente cobertos por um ou mais dos atores envolvidos no ciclo de vida do produto (fornecedor, fabricante, usuário ou consumidor e/ou ator de fim de vida), incluindo externalidades, que se espera serem internalizadas no futuro relevante para a decisão. O custeio ambiental do ciclo de vida aprimora o CCV convencional ao exigir, a inclusão de todas as etapas do ciclo de vida e dos custos a serem internalizados no futuro relevante para a decisão e, a separação dos resultados da ACV não monetizados. Um sistema de produto conforme a ISO 14.040 e 14.044 (2006) deve ser usado como base para ambos. A perspectiva é de um ou mais atores do mercado, principalmente fabricantes. Quando relevante, subsídios e impostos são incluídos no custo ambiental do ciclo de vida (CIROTH et al., 2008; REDDY; KURIAN; ARDAKANIAN, 2015).
- III. Societal: a avaliação de todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto que são cobertos por qualquer pessoa na sociedade, seja hoje ou no futuro a longo prazo. O custeio societal do ciclo de vida inclui todos os custos do custeio ambiental do ciclo de vida mais a avaliação adicional de outros custos externos, geralmente em termos monetários. A perspectiva é da sociedade como um todo, nacional e internacionalmente, incluindo os governos. Comparado ao custeio ambiental do ciclo de vida, subsídios e impostos não têm efeito de custo líquido e, portanto, não são incluídos no custo societal do ciclo de vida (CIROTH et al., 2008; REDDY; KURIAN; ARDAKANIAN, 2015).

As três abordagens estão relacionadas, sendo que a convencional faz parte da ambiental, que por sua vez faz parte da societal (PADILLA-RIVERA et al., 2023), a Figura 5 abaixo sintetiza a relação entre as abordagens.

Figura 5 - os tipos de abordagem de CCV



Fonte: adaptado Ciroth et al. (2008).

Hackenhaar et al. (2024) destacam a diferença nessa estrutura. Primeiro, a unidade de referência utilizada na abordagem ambiental é a unidade funcional, semelhante à ACV-ambiental, enquanto na convencional, é um item ou unidade de produto, e na societal é o sistema total em estudo (CIROTH et al., 2008). Considerando a perspectiva de um único interessado, a abordagem convencional, não contabiliza a fase de fim de vida e uso, enquanto a ambiental e a societal avaliam todo o ciclo de vida (HACKENHAAR et al., 2024). Em relação aos limites do sistema, as abordagens podem observar apenas os custos internos, ou seja, refletidos diretamente no preço do produto, ou incluir parcial ou totalmente os custos em termos de externalidades monetizadas (REDDY; KURIAN; ARDAKANIAN, 2015). A convencional do custeio do ciclo de vida contabiliza apenas custos internos; a ambiental do custeio do ciclo de vida considera custos internos e custos externos que se espera serem internalizados (PADILLA-RIVERA et al., 2023). A societal do custeio do ciclo de vida leva em conta todos os custos internos e externos. Assim, enquanto a convencional carece de informações sobre o fim de vida e não corresponde ao escopo da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, a societal leva à dupla contagem quando integrada com a avaliação ambiental do ciclo de vida e a avaliação social do ciclo de vida em um *framework* de sustentabilidade integrado, como a avaliação da sustentabilidade (HACKENHAAR et al., 2024). Enquanto isso, os resultados da abordagem ambiental do custeio do ciclo de vida são complementares à avaliação ambiental do ciclo de vida (CIROTH et al., 2008).

Mesmo que a abordagem ideal para a ASCV seja o CCV – ambiental (HACKENHAAR et al., 2024) a maioria dos estudos de ASCV aplicam a abordagem de CCV – convencional (COSTA; QUINTEIRO; DIAS, 2019), com menor informações proporcionadas frente às demais abordagens do custeio do ciclo de vida, não inclui aspectos como lucro, vantagem competitiva, impactos no mercado do produto e na economia regional (PADILLA-RIVERA et al., 2023). Distorcendo a sustentabilidade de um produto, ademais, elucida Ciroth et al. (2008), os produtos sustentáveis apresentam maior custo de compra, mas em sua maioria, apresentam menores custos nas fases de uso e fim de uso. Por outro lado, a análise de CCV é afetada pela informação disponível do fornecedor e pela qualidade dessas informações (KAYRBEKOVA; MARKESET; GHODRATI, 2011). Além disso, realizar um CCV ambiental ou societal, pode ser impossível devido à enorme necessidade de dados e informações (MIAH; KOH; STONE, 2017). As vantagens da CCV convencional de proporcionar uma análise simplificada dos custos do ciclo de vida são configuradas por não refletir a necessidade de estabelecer extensas relações de causa e efeito, ignorando os custos indiretos (CIROTH et al., 2008). Os sistemas de custos convencionais medem o custo da mão de obra, as horas de máquina e os custos dos materiais consumidos pelo sistema produtivo (KAYRBEKOVA; MARKESET; GHODRATI, 2011).

Para a produção agrícola, é essencial considerar todos os custos diretos e indiretos para garantir a sustentabilidade econômica e financeira (BATALHA et al., 2021). Esses custos incluem, conforme os estudos de Falcone et al. (2020), Chakravarty e Wade (2023) e Sgroi et al. (2015): a) custos de materiais e serviços, envolvendo fertilizantes, pesticidas e herbicidas, serviços, combustível e lubrificante, água para irrigação; b) custos de trabalho, que englobam recursos humanos; c) quotas e outras atribuições, abrangendo quotas sobre capitais duráveis, trabalho intelectual, juros sobre custos correntes e capitais duráveis; d) custos de produção específicos por fase do ciclo de vida, nesse sentido, fase de plantio, fase de produção crescente, fase de maturidade, fase de produção decrescente. Vale mencionar que os autores destacam somente os custos para a produção convencional da agricultura, não elucidando dados da produção orgânica.

Para realizar o CCV, é essencial estabelecer a perspectiva da análise. Os custos podem variar dependendo dessa perspectiva, pois nos fluxos monetários sempre existe uma parte que paga e outra que recebe os recursos financeiros diretamente (COSTA, 2023). É possível adotar uma perspectiva focada em um único ator ou em múltiplos atores. Ao incluir todas as partes interessadas afetadas pelo cenário de produção agrícola avaliado, o resultado exibirá os custos e sua distribuição entre essas partes, indicando quais delas incorrem em mais ou menos custos

(CIROTH et al., 2008). Esse resultado pode ser utilizado para avaliar potencialmente as necessidades de compensação financeira entre as partes interessadas.

A produção agrícola de laranja é constituída por fornecedores, produtores agrícolas e consumidores, com desigual nível de forças econômicas nas interações produtivas. Uma vez que a crescente dependência dos agricultores em relação às grandes corporações é uma característica central do sistema alimentar hegemônico, tanto na aquisição de insumos necessários para seus sistemas de produção quanto na venda de sua produção para processadoras (BORSATTO, 2022). Quando se realiza o CCV-convencional tendo o produtor sob perspectiva de análise trata-se da análise de um sistema econômico envolvendo apenas um ator. Tal análise será de menor complexidade para se realizar e pode ser de grande auxílio na tomada de decisões sobre os custos de sistema alternativo de produção. Menos dados e informações são necessários, e os resultados geralmente são pouco sensíveis à imprecisão e incerteza nos dados e informações (KAYRBEKOVA; MARKESSET; GHODRATI, 2011).

Deve ser considerado que o período temporal tem que coincidir com o da ACV ambiental e social, e que os valores monetários precisam ser ajustados temporalmente para representar o valor presente líquido, levando em conta fatores como depreciação e inflação (COSTA, 2023).

Os custos econômicos incluem os impactos dos sistemas fornecedor, uma vez que o preço de um produto ou serviço carrega os custos de todo o seu ciclo de vida econômico, desde que os princípios de mercado que formam o custo sejam acordados (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013). Não existe uma base de dados para o CCV como há para a ACV (PADILLA-RIVERA et al., 2023); os dados precisam ser coletados ao longo do ciclo de vida do produto. Quando nem todos os dados necessários estão disponíveis, podem ser utilizados métodos de estimativas, como desenvolvimento de cenários e previsões (CIROTH et al., 2008). Também podem ser aplicados limites e regras de corte, assim como na ACV. Após a determinação de todos os custos, eles devem ser calculados de acordo com o fluxo de referência derivado da unidade funcional comum com a ACV (COSTA, 2023).

Levantar os dados de custeio de um produtor agrícola é uma tarefa árduo e demanda tempo, quando se coloca luz a pequeno empreendimentos, essa atividade se torna mais complexa, pois a sistematização dos dados não acontece de forma documental e em diferentes casos ela está vinculada com a experiência do proprietário da empresa (VASCONCELLOS; OLIVEIRA, 2020). Ademais, podem estar sob confidencialidade e serem de difícil acesso, representando apenas a realidade ora analisada (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013).

Isso se deve às especificidades microeconômicas locais, diferenças na tecnologia utilizada e na definição dos custos (CIROTH et al., 2008).

Os custos podem ser classificados de diferentes maneiras, uma abordagem útil é a de custos diretos e indiretos (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013). No primeiro caso são os custos que ocorrem diretamente na produção, tidos como essenciais, todo material e recursos envolvidos diretamente com a produção, sem a qual ela não ocorre. O custo indireto, por outro lado, é compreendido como não essencial, e não se vincula diretamente com a produção, nesse sentido, sem esse recurso ou material a produção continua a existir (BATALHA et al., 2021). Ainda segundo o autor anterior, os custos podem ser definidos como variáveis, o qual, estão ligados ao funcionamento da empresa e dependem do grau de utilização dos fatores de produção; e, fixos, aqueles que independente das variações ocorridas no volume de produção continuam a existir.

As categorias de impacto comumente utilizadas em estudos de custeio de ciclo de vida se ramificam entre taxa interna de retorno (*internal rate of return*), seguido por custos de manutenção (*maintenance costs*) e valor presente líquido (*net present value*) (CHAKRAVARTY; WADE, 2023; FALCONE et al., 2020; SGROI et al., 2015). No CCV, não há a etapa de avaliação de impactos do ciclo de vida, o custo calculado para a unidade funcional estabelecida é o resultado do CCV (CIROTH et al., 2008). Criando um desafio para correlacionar os dados econômicos com o ambiental e social (MUTHU, 2021). Por vezes, são apresentados os resultados sem utilizar qualquer tipo de ponderação ou normalização (CINELLI; COLES; KIRWAN, 2014). Embora a abordagem de custeio do ciclo de vida apresente os resultados de forma transparente, ela é difícil de compreender para o público em geral e para auxiliar na tomada de decisão (PADILLA-RIVERA et al., 2023), em virtude complexidade metodológica (ATIA; BASSILY; ELAMER, 2020), necessidade de dados abrangentes (HERALOVA, 2014), dificuldade na comunicação dos resultados (KAMBANOU, 2020), integração limitada com aspectos ambientais e sociais (MUTHU, 2021).

3.4.3. Avaliação social do ciclo de vida (ACV-social)

A avaliação social do ciclo de vida (ACV-social) é uma técnica utilizada para avaliar os impactos sociais e socioeconômicos potenciais, tanto positivos quanto negativos, associados a produtos ao longo de todo o seu ciclo de vida (TRAVERSO et al., 2021). Entre as vertentes ambientais e de custeio da sustentabilidade, a ACV-social é a que tem sido menos aplicada em estudos voltados para produção de laranja (STILLITANO et al., 2021).

As primeiras discussões sobre a inclusão de aspectos sociais na avaliação do ciclo de vida começaram em 1993, quando a categoria de impacto bem-estar social foi introduzida na ACV. Essa categoria foi criada para representar os impactos ambientais que decorrem, direta ou indiretamente, de impactos sociais (MUTHU, 2019). Com vistas a estabelecer um norte para a padronização foi publicada a norma ISO 14.075, a qual estabelece os princípios e estrutura para aplicação da avaliação social do ciclo de vida (ISO, 2024).

No entanto, ainda há um longo caminho a ser percorrido para alcançar a maturidade científica dessa abordagem, especialmente no que diz respeito às metodologias e abordagens para avaliar os impactos sociais e socioeconômicos (COSTA, 2023). Em 2020, um avanço significativo foi realizado na busca pela padronização com o lançamento da versão atualizada do guia da *United Nations Environment Programme* (UNEP) e a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) intitulado *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020*. Este documento representa um grande progresso em questões que não haviam sido exploradas no guia anterior, lançado em 2009, e que continuavam a gerar múltiplas interpretações entre os praticantes, tais como coleta de dados, alocação e avaliação de impacto (TRAVERSO et al., 2021). Proporcionando uma estrutura para os elementos-chaves a serem considerados e fornece orientações para a realização de uma avaliação do ciclo de vida social nas fases de definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação (ANDREWS et al., 2009), posteriormente, foi publicado um trabalho que fornece uma base teórico-metodológica para as categorias de impacto na abordagem social do ciclo de vida, intitulado *Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)* (TRAVERSO et al., 2021).

E em 2024, a norma ISO 14.075, intitulada *Environmental management — principles and framework for social life cycle assessment*, estabelece diretrizes para a realização da avaliação social do ciclo de vida de produtos. Ela fornece um quadro que auxilia na identificação de contribuições positivas e negativas em relação aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas (ISO, 2024). A estrutura para a aplicação da avaliação social do ciclo de vida ou avaliação por escala de referência social para o ciclo de vida possui as seguintes fases (ISO, 2024):

- I. Definição de objetivo e escopo: estabelece o propósito e os limites da avaliação, determinando quais aspectos sociais serão considerados e a profundidade da análise.

- II. Análise de inventário social do ciclo de vida: coleta e compila dados relevantes sobre os impactos sociais ao longo do ciclo de vida do produto, desde a extração de matérias-primas até o descarte final.
- III. Avaliação de impacto social do ciclo de vida: avalia os potenciais impactos sociais identificados na etapa de inventário, considerando fatores como condições de trabalho, direitos humanos e bem-estar das comunidades afetadas.
- IV. Interpretação: analisa os resultados obtidos nas etapas anteriores para fornecer conclusões e recomendações que possam orientar melhorias no desempenho social do produto.

A norma ISO 14.075 (2024) estabelece como aspecto social elementos das ações ou produtos de uma organização que se vincula com o bem-estar humano de qualquer parte interessada e que ocasionará um impacto social. Há duas abordagens distintas para definir o sistema de produto na ACV-social: a perspectiva da organização e a do processo. Na primeira, a organizacional, os impactos sociais estão mais associados ao comportamento das organizações onde os processos ocorrem do que aos próprios processos. Assim, o sistema de produto deve incluir as organizações envolvidas nos processos (DUBOIS-IORGULESCU et al., 2018). Na abordagem processual, o foco nos processos é a base para a avaliação, semelhante ao que ocorre na ACV-ambiental (COSTA, 2023). Ambas as abordagens são complementares, ao adotar a perspectiva organizacional, surgem desafios de alocação quando um empreendimento produz mais de um produto, pois é complicado determinar qual parcela dos impactos sociais totais deve ser atribuída a cada produto (PETTI; SERRELI; DI CESARE, 2018). Para resolver essa questão, a ISO 14.075 (2024) estabelece a variável de atividade, a qual é a medida da atividade de um processo que fornece informações sobre a importância relativa (ou intensidade) dos processos no sistema de produto e que está relacionada a uma unidade funcional.

Na ACV-social, os impactos são influenciados pelo comportamento das organizações e partes interessadas, e não por um fluxo físico, o que muitas vezes faz com que os resultados não estejam diretamente relacionados à unidade funcional. Em outros casos, os impactos podem estar associados às horas de trabalho necessárias para que a função do produto seja cumprida (ISO, 2024; TRAVERSO et al., 2021). Para além disso, é difícil associar algumas subcategorias de impacto a uma unidade funcional, por se tratar de interações sociais complexas como em casos de assédio e trabalho análogo a escravidão (CHHIPI-SHRESTHA; HEWAGE; SADIQ, 2015).

A ACV-social foca nos impactos que recaem sobre as pessoas e organizações, por isso, deve incluir as atividades do ciclo de vida que afetam as partes interessadas, que são grupos de atores sociais com interesses alinhados às organizações devido às suas relações com o sistema analisado. Esses grupos podem afetar, ser afetado ou perceber-se como afetados por uma decisão ou atividade para a realização dos objetivos organizacionais (ISO, 2024; MUTHU, 2019). As partes interessadas são constituídas por seis grupos principais, sendo: trabalhadores, comunidade local, sociedade, consumidores, atores da cadeia de valor e crianças (NORRIS et al., 2020).

A partir das partes interessadas, são definidas categorias de impacto que derivam de temas de interesse social, tais como: direitos e deveres, condições de trabalho, saúde e segurança, patrimônio cultural, governança e repercussões socioeconômicas, que correspondem aos impactos de ponto final (DE LUCA et al., 2015). Como essas categorias são abstratas e amplas, elas são especificadas em subcategorias de impacto que representam temas ou atributos de significância social. Essas subcategorias são baseadas, na maioria das vezes, em acordos e convenções internacionais (CHHIPI-SHRESTHA; HEWAGE; SADIQ, 2015), além de regulamentações nacionais e melhores práticas reconhecidas globalmente (NORRIS et al., 2020). O guia *Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations* (NORRIS et al., 2020) lista 40 subcategorias de impactos, que devem ser vinculadas diretamente a uma parte interessada (ISO, 2024). Dentre essas, as mais utilizadas em estudos de ACV-social que focam na produção de laranja estão relacionadas às partes interessadas trabalhadores. As subcategorias incluem direitos trabalhistas, saúde e segurança, direitos humanos, governança e comunidade (DE LUCA et al., 2015; IOFRIDA et al., 2019; MUÑOZ TORRES et al., 2022).

As subcategorias de impacto na ACV-social são avaliadas por meio de indicadores do inventário, que são expressos em indicadores semiquantitativos e qualitativos, cada um com diferentes unidades de medida (COSTA, 2023). A coleta de informações apresenta um desafio significativo nesse processo. Dado que os impactos sociais estão ligados ao comportamento dos produtores e suas interações com as partes interessadas, dois produtores agrícolas que produzem a mesma cultura com o mesmo pacote tecnológico de plantio e sistema produtivo, podem gerar impactos sociais distintos (MUTHU, 2021). Por isso, na ACV-social, a necessidade de dados específicos ao contexto local é crucial (MUTHU, 2019). Contudo, a obtenção desses dados pode ser complexa e nem sempre é viável (KLOEPFFER, 2008).

Existem bases de dados específicas para ACV-social, como a *Social Hotspot Database* (SHDB) e a *Product Social Impact Life Cycle Assessment* (PSILCA) (GOEDKOOP et al.,

2020). No entanto, essas bases fornecem dados agregados de setores específicos por países (NORRIS et al., 2020). Geralmente, são empregadas para análises mais genéricas, como na modelagem de sistemas secundários do produto em estudo ou para identificar quais processos podem ser relevantes em termos de impactos sociais, e por isso devem ser incluídos no sistema de produto. Para análises que utilizam esses bancos de dados, *softwares* como *OpenLCA* podem ser empregados (LOPES SILVA et al., 2019).

A fase de avaliação de impacto na ACV-social é dividida em classificação, agregação e caracterização (NORRIS et al., 2020). Na etapa de classificação, os resultados do inventário são alocados a uma categoria de partes interessadas ou a uma categoria de impacto específica (NORRIS et al., 2020). Na caracterização, os resultados são convertidos em unidades comuns e agregados dentro da mesma categoria de impacto, podendo adotar tanto uma abordagem quantitativa ou semiquantitativa, quanto ser um processo de agregação básica de dados qualitativos (GOEDKOOOP et al., 2020; ISO, 2024) ou envolver comparações com *benchmarks* de desempenho a partir de uma escala de referências (ISO, 2024). Uma particularidade da ACV-social é que a pontuação e a ponderação muitas vezes fazem parte da etapa de caracterização, em vez de ocorrerem na etapa de interpretação, como é usual na ACV-ambiental (ISO, 2024; NORRIS et al., 2020).

Os princípios e estrutura de trabalho para avaliação social do ciclo de vida dispostos na ISO 14.075 (ISO, 2024) estabelecem como mandatória a análise de causa e efeito dos caminhos de impacto, utilizando fatores de caracterização que convertem os resultados para uma categoria de impacto de *midpoint* ou *endpoint*. Essa metodologia permite uma avaliação mais detalhada dos impactos potenciais ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço (COSTA, 2023).

Para a fase de avaliação de impacto social, a ISO 14.075 (2024) estabelece que, o modelo de caracterização utilizado é fundamentado em fatores de caracterização derivados de modelos que relacionam os resultados do inventário do ciclo de vida aos indicadores das categorias sociais, permitindo converter resultados do inventário social em unidades comuns de impacto social. Nesse sentido, é necessário selecionar as categorias de impacto para representar os aspectos sociais relevantes do sistema do produto, o processo de seleção deve ser consistente com o objetivo e escopo do estudo e deve refletir um conjunto abrangente de questões sociais relacionadas ao sistema do produto. Os modelos de caracterização estabelecem uma relação entre os resultados do inventário social e os indicadores de categoria. Esses modelos utilizam fatores de caracterização para converter os dados do inventário em resultados quantitativos representativos de impacto social (ISO, 2024). A norma estabelece que a caracterização, ou

cálculo dos indicadores de categoria, engloba a conversão dos resultados do inventário em unidades comuns que possibilitem a agregação de resultados dentro da mesma categoria de impacto. Os fatores de caracterização, e.g., anos de vida ajustados pela qualidade em relação a condições de trabalho são utilizados para o cálculo. Os caminhos de impacto são modelados e descrevem as relações causais entre os aspectos sociais e os impactos finais observados nas categorias específicas, incluindo aspectos diretos e indiretos.

A fase de interpretação é outra etapa obrigatória na avaliação social do ciclo de vida, conforme a ISO 14.075 (2024). Essa etapa deve incluir: I) identificação dos problemas significativos; II) avaliação das questões de completude e consistência; III) análise do nível de engajamento com as partes interessadas; IV) elaboração de conclusões, recomendações e relatórios; V) análise de sensibilidade e avaliação da qualidade dos dados; VI) avaliação de materialidade. Além de conclusões, limitações e recomendações que se baseiam nos resultados das fases anteriores para propor ações. E, identificar limitações nos dados, metodologia ou escopo para fornecer recomendações aos tomadores de decisão. O processo de interpretação é iterativo e pode levar à revisão de fases anteriores caso sejam identificadas lacunas ou inconsistências.

Esses elementos são essenciais para assegurar que a interpretação dos dados coletados seja profunda e abrangente, orientando a tomada de decisões informada e o desenvolvimento de estratégias eficazes. Além de contribuir para a identificação de processos unitários ou grupos de processos que contribuem significativamente para impactos sociais potenciais. E, proporcionar uma visão geral dos efeitos sociais benéficos e prejudiciais associados a uma unidade funcional.

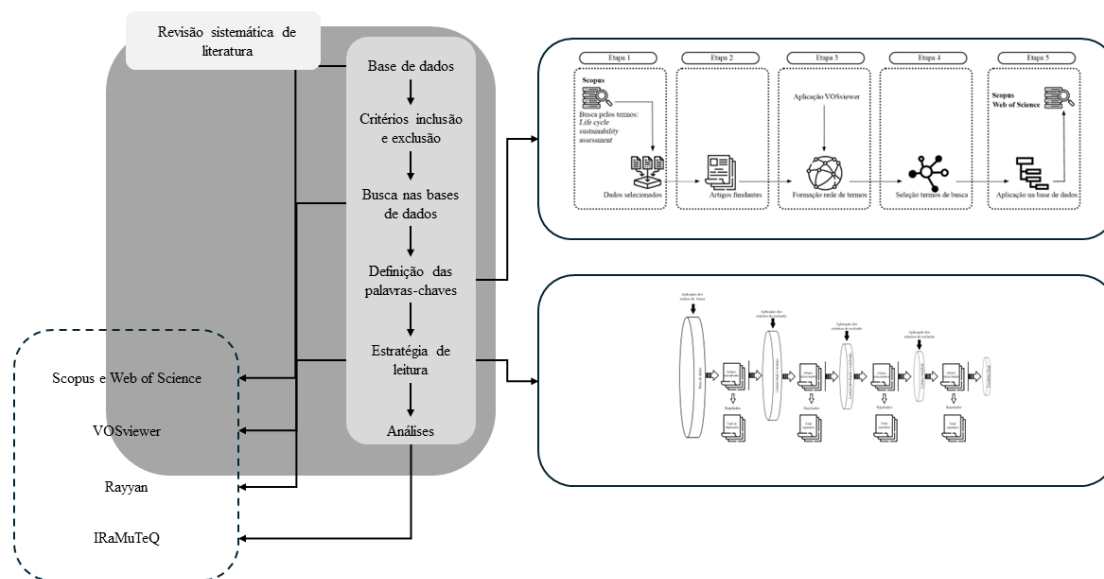
4. MÉTODOS DE PESQUISA

Nesta seção serão descritas as etapas para a realização da pesquisa com os métodos de pesquisa usados. A pesquisa classifica-se como qualitativa, pois levantará informações sobre aspectos sociais da produção orgânica de laranja. E quantitativa, vinculados as informações ambientais e de custeio da produção de citrus visando compreender em detalhes o sistema produtivo (GIL, 2017). Com caráter exploratório-descritivo, no qual procura-se compreender com detalhes as nuances da produção orgânica de laranja e descrever suas características gerais, adotando a abordagem de estudo de caso de dois produtores na região da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema (CAUCHICK MIGUEL et al., 2012).

4.1. Metodologia para a revisão sistemática de literatura

A metodologia de revisão sistemática da literatura consiste em seis etapas, transcritas sumariamente na Figura 6.

Figura 6 - metodologia da revisão sistemática de literatura



Fonte: elaborado pelo autor.

A etapa 1 é a definição das bases de dados. Em seguida, a etapa 2 se configura pelos critérios de inclusão e exclusão. Na etapa 3 e 4 são delineados os termos de busca e aplicados as bases de dados. Posteriormente, na etapa 5 é estabelecida a estratégia de leitura. E, por fim, são realizadas as análises, constituindo a etapa 6. Todas essas etapas são detalhadas nas ramificações da presente seção.

4.1.1. Bases de dados

A escolha da base de dados reflete a abrangência e relevância que o estudo se propõe, as bases de dados bibliográficas são as principais fontes de metadados de publicação e métricas de citação. Nesse sentido, *Web of Science* (WoS) e *Scopus* são as duas bases de dados bibliográficos geralmente aceitos como as fontes de dados mais abrangentes para vários fins. Por se configurarem como banco de dados multidisciplinares e seletivos, compostos por uma variedade de índices especializados, agrupados de acordo com o tipo de conteúdo indexado ou por tema (PRANCKUTĖ, 2021), isso permite solidez nos estudos encontrados pela

transparência, estabilidade, precisão e controle dos dados. Desse modo, as duas bases foram objeto de pesquisa deste projeto.

4.1.2. Critérios de inclusão e exclusão dos estudos

Os critérios de inclusão abrangem estudos que apliquem conceitos da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida na produção agrícola da laranja, bem como, aqueles que aplicam uma das abordagens do ciclo de vida, seja a ambiental, econômica ou social de maneira híbrida ou isolada. Como critérios de exclusão foram determinados: artigos de revisão de literatura, artigos que não abordem especificamente avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, não aplique a abordagem anteriormente citadas na produção agrícola da laranja, duplicados e aqueles que não foi possível o acesso na íntegra.

4.1.3. Definição das palavras-chaves

As buscas preliminares foram realizadas em caráter exploratório, para proporcionar maior familiaridade com o objetivo da revisão, visando explicitá-lo e construir hipóteses (HART, 1999). Como forma de identificação das palavras-chaves, a estratégia traçada pelo presente estudo consiste em técnicas que visam compreender como diferentes pesquisas utilizam cada conceito oriundo dos objetivos desse estudo, para empregar sinônimos e termos correlatos. Foram utilizadas a base de indexação de artigos *Scopus*, a escolha se qualifica por ser acessível com assinatura única, sem modulações permitindo adentrar em seu conteúdo integralmente (PRANCKUTÊ, 2021) e o *software* VOSviewer, em sua versão 1.6.15. para construir, exibir e identificar *clusters* e redes de co-ocorrência (MASCARENHAS; FERREIRA; MARQUES, 2018). Os termos foram definidos em inglês, pois todas as revistas científicas exigem que sejam publicados resumos na referida língua, bem como, as palavras-chaves (PRANCKUTE, 2021; GALVÃO; RICARTE, 2020), considerando ainda, os objetivos e questão de pesquisa, sintetizados no isolamento dos termos que compõem esse aspecto.

Os dados obtidos, a partir da aplicação dos termos de busca na base de indexadores de artigos *Scopus*, foram aplicados ao VOSviewer para realizar uma análise de co-ocorrência, determinada com base no número de documentos em que uma palavra-chave é mencionada. Considerando como método de contato completo, ou seja, todos os termos têm o mesmo peso; a unidade de análise são as palavras-chaves. O número de ocorrência mínima de uma palavra-chave é dez, diante disso, uma palavra-chave deve ser mencionada ao menos em dez estudos

distintos para ser contabilizado. Para o constructo *life cycle sustainability assessment*, aplicado de forma exploratória, o resultado obtido na base de dados Scopus foi de 536 artigos. Os dados foram exportados para o VOSviewer, com 12.057 termos encontrados e 338 atendendo aos critérios estabelecidos. Do total de termos encontrados, permaneceram somente aqueles correlatos com a pesquisa de Cordella et al., (2023), cuja investigação procura evidenciar trabalhos que abordam as ligações entre estudos de avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Diante disso, os termos corroborados tanto pelo VOSviewer, quanto no estudo supracitado, são: *life cycle sustainability assessment*; *life cycle sustainability performance*; *integrated life cycle sustainability assessment*; *life cycle sustainability*; e, *life cycle sustainability assessment framework*.

Para o termo *orange*, aplicado de forma exploratória, o resultado obtido na base de dados Scopus foi de 20.593 artigos, a partir da restrição temporal, entre 2021 a 2023. Os dados foram exportados para o VOSviewer, com 98.843 termos encontrados e 1.477 atendendo aos critérios estabelecidos. Do total de termos encontrados, permaneceram somente aqueles correlatos com a pesquisa de Granone, Hegel e Pereda (2022), cuja investigação procura apresentar as realizações mais significativas no processamento de frutas cítricas. Diante disso, os termos corroborados tanto pelo VOSviewer, quanto no estudo supracitado, são: *citrus fruit*; *citrus sinensis*; *sweet orange*; *sour orange*; *orange fruit*; *orange peel*; *sour orange extract*.

O termo *social life cycle assessment*, foi aplicado de forma exploratória, o resultado obtido na base de dados Scopus foi de 620 artigos. Os dados foram exportados para o VOSviewer, com 13.373 termos encontrados e 544 atendendo aos critérios estabelecidos. Do total de termos encontrados, permaneceram somente aqueles correlatos com o relatório de Traverso et al., (2021), que procura apresentar um guia metodológico sobre as categorias de impacto inerentes à avaliação social do ciclo de vida. Diante disso, os termos corroborados tanto pelo VOSviewer, quanto no estudo supracitado, são: *slca*, *social lca*, *scla*, *social life cycle assessment*, *social aspect*, *social dimension*, *social hotspot database*, *social life cycle impact assessment*, *social footprint*, *slca approach*, *positive social impact*, *potential social impact*, *social impact category*, *social life cycle assessment methodology*, *slca study*, *s lca methodology*, *s lca study*, *social assessment*, *social impact assessment*, *social lca*, *social impact* e *s lca*.

A busca pelo termo *life cycle cost*, foi aplicada de forma exploratória ao Scopus, o resultado obtido foi de 16.645 artigos. Os dados foram exportados para o VOSviewer, com 44.606 termos encontrados e 1.494 atendendo aos critérios estabelecidos. Permanecendo somente aqueles correlatos com o livro de Ciroth et al. (2008), que procura sintetizar todos os

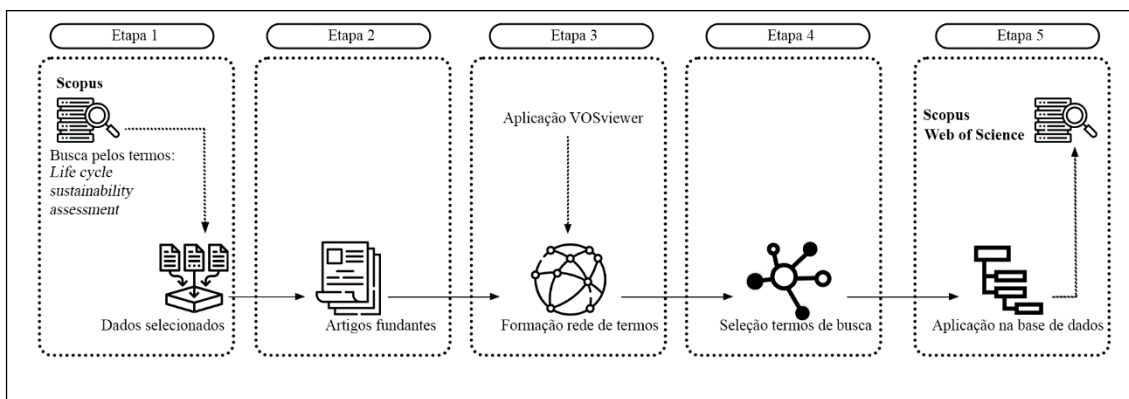
custos envolvidos no ciclo de vida de um produto. Diante disso, os termos corroborados tanto pelo VOSviewer, quanto no estudo supracitado, são: *life cycle cost model, economic cost, societal lcc, economic dimension, lcc technique, cost management, lcc calculation, economic assessment, lcca, lcc method, economic perspective, life cycle costing methodology, economic life cycle assessment, lcc result, lcc model, lower life cycle cost, life cycle cost analysis, lifecycle cost, lcc study, life cycle costing analysis, total life cycle cost, lcc methodology, lcc approach, cost analysis, life cycle cost, cost assessment, lcc analysis, lcc e life cycle costing*.

Para o termo *life cycle assessment*, aplicado de forma exploratória, o resultado obtido na base de dados Scopus foi de 18.423 artigos, a partir da restrição temporal, entre 2019 a 2023. Os dados foram exportados para o VOSviewer, com 80.022 termos encontradas e 14.120 atendendo aos critérios estabelecidos. Do total de termos encontrados, permaneceram somente aqueles correlatos com o livro de Oliveira et al. (2021), que visa apresentar e explicar os principais conceitos, técnicas e aplicações da engenharia e gerenciamento do ciclo de vida em produtos para a promoção da sustentabilidade. Diante disso, os termos corroborados tanto pelo VOSviewer, quanto no estudo supracitado, são: *life cycle assessment, life cycle sustainability assessment, life cycle thinking, gate life cycle assessment, grave life cycle assessment, assessment method, life cycle phase, comparative life cycle assessment, attributional life cycle assessment, lifecycle, life cycle impact assessment, life cycle assessment tool, life cycle impact assessment method, lca methodology, whole life cycle, prospective life cycle assessment, life cycle inventory, life cycle assessment analysis, consequential life cycle assessment, life cycle stage, life cycle assessment approach, life cycle assessment model, comprehensive life cycle assessment, entire life cycle, life cycle inventory data, lca study, life cycle assessment methodology, life cycle environmental impact, lifecycle assessment, lca model, life cycle approach, lca analysis, lca approach, life cycle assessment method, environmental life cycle assessment, life cycle perspective, life cycle assessment study e life cycle assessment result*.

4.1.4. Buscas nas bases de dados

Os termos de busca foram aplicados nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Sem restrição temporal, com artigos publicados até dois mil e vinte e quatro; sendo aceitos para essa revisão: artigos, artigos de congresso, revisão, capítulo de livros, relatórios e manuais. A Figura 7 sintetiza essa etapa.

Figura 7 - fluxograma para seleção dos dados



Fonte: elaborado pelo autor.

A busca foi realizada entre setembro de 2023 e dezembro de 2024 na base de dados *Scopus* e *Web of Science*, considerando os títulos, resumos e palavras-chaves obtendo-se 294 artigos. A obtenção desses artigos se deu por diferentes combinações de termos de busca nas referidas bases. A Tabela 1 detalha as combinações de busca.

Tabela 1 - combinações dos termos de busca

Base de dados	Combinações de busca	Palavras-chaves	Quantidades encontradas
Scopus	Orange e life cycle assessment	TITLE-ABS-KEY ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TITLE-ABS-KEY ("life cycle assessment*" OR "life cycle sustainability assessment" OR "life cycle thinking" OR "gate life cycle assessment" OR "grave life cycle assessment" OR "assessment method" OR "life cycle phase" OR "comparative life cycle assessment" OR "attributional life cycle assessment" OR "lifecycle" OR "life cycle impact assessment" OR "life cycle assessment tool" OR "life cycle impact assessment method" OR "lca methodology" OR "whole life cycle" OR "prospective life cycle assessment" OR "life cycle inventory" OR "life cycle assessment analysis" OR "consequential life cycle assessment" OR "life cycle stage" OR "life cycle assessment approach" OR "life cycle assessment model" OR "comprehensive life cycle assessment" OR "entire life cycle" OR "life cycle inventory data" OR "lca study" OR "life cycle assessment methodology" OR "life cycle environmental impact" OR "lifecycle assessment" OR "lca model" OR "life cycle approach" OR "lca analysis" OR "lca approach" OR "life cycle assessment method" OR "environmental life cycle assessment" OR "life cycle perspective" OR "life cycle assessment study" OR "life cycle assessment result")	120
	Orange e life cycle cost	TITLE-ABS-KEY ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TITLE-ABS-KEY ("life cycle cost model" OR "economic cost" OR "societal lcc" OR "economic dimension" OR "lcc technique" OR "cost management" OR "lcc calculation" OR "economic assessment" OR "lcca" OR "lcc method" OR "economic perspective" OR "life cycle costing methodology" OR "economic life cycle assessment" OR "lcc result" OR "lcc model" OR "lower life cycle cost" OR "life cycle cost analysis" OR "lifecycle cost" OR "lcc study" OR "life cycle costing analysis" OR "total life cycle cost" OR "lcc methodology" OR "lcc approach" OR "cost analysis" OR "life cycle cost" OR "cost assessment" OR "lcc analysis" OR "lcc" OR "life cycle costing")	67
	Orange e life cycle sustainability assessment	TITLE-ABS-KEY ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TITLE-ABS-KEY ("Life cycle sustainability assessment" OR "Life cycle sustainability performance" OR "integrated life cycle sustainability assessment" OR "triple bottom line" OR "sustainability concept" OR "sustainability impact" OR "sustainability aspect" OR "life cycle sustainability" OR "life cycle sustainability assessment framework" OR "lcsa")	4

	Orange e social life cycle assessment	TITLE-ABS-KEY ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TITLE-ABS-KEY ("s lca" OR "social lca" OR "scla" OR "social life cycle assessment" OR "social aspect" OR "social dimension" OR "social hotspot databse" OR "social life cycle impact assessment" OR "social footprint" OR "slca approach" OR "positive social impact" OR "potential social impact" OR "social impact category" OR "social life cycle assessment methodology" OR "slca study" OR "s lca methodology" OR "s lca study" OR "social assessment" OR "social impact assessment" OR "social lca" OR "social impact" OR "s lca")	25
Web of Science	Orange e life cycle assessment	TS= ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TS= ("life cycle assessment*" OR "life cycle sustainability assessment" OR "life cycle thinking" OR "gate life cycle assessment" OR "grave life cycle assessment" OR "assessment method" OR "life cycle phase" OR "comparative life cycle assessment" OR "attributional life cycle assessment" OR "lifecycle" OR "life cycle impact assessment" OR "life cycle assessment tool" OR "life cycle impact assessment method" OR "lca methdolody" OR "whole life cycle" OR "prospective life cycle assessment" OR "life cycle inventory" OR "life cycle assessment analysis" OR "consequential life cycle assessment" OR "life cycle stage" OR "life cycle assessment approach" OR "life cycle assessment model" OR "comprehensive life cycle assessment" OR "entire life cycle" OR "life cycle inventory data" OR "lca study" OR "life cycle assessment methodology" OR "life cycle environmental impact" OR "lifecycle assessment" OR "lca model" OR "life cycle approach" OR "lca analysis" OR "lca approach" OR "life cycle assessment method" OR "environmental life cycle assessment" OR "life cycle perspective" OR "life cycle assessment study" OR "life cycle assessment result")	47
	Orange e life cycle cost	TS= ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TS= ("life cycle cost model" OR "economic cost" OR "societal lcc" OR "economic dimension" OR "lcc technique" OR "cost management" OR "lcc calculation" OR "economic assessment" OR "lcca" OR "lcc method" OR "economic perspective" OR "life cycle costing methodology" OR "economic life cycle assessment" OR "lcc result" OR "lcc model" OR "lower life cycle cost" OR "life cycle cost analysis" OR "lifecycle cost" OR "lcc study" OR "life cycle costing analysis" OR "total life cycle cost" OR "lcc methodology" OR "lcc approach" OR "cost analysis" OR "life cycle cost" OR "cost assessment" OR "lcc analysis" OR "lcc" OR "life cycle costing")	25
	Orange e life cycle sustainability assessment	TS= ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TS= ("Life cycle sustainability assessment" OR "Life cycle sustainability performance" OR "integrated life cycle sustainability assessment" OR "triple bottom line" OR "sustainability concept" OR "sustainability impact" OR "sustainability aspect" OR "life cycle sustainability" OR "life cycle sustainability assessment framework" OR "lcsa")	2
	Orange e social life cycle assessment	TS= ("Citrus fruit*" OR "citrus sinensis" OR "sweet orange" OR "sour orange" OR "orange (fruit)" OR "orange peel*" OR "sour orange extract" OR "orange fruit") AND TS= ("s lca" OR "social lca" OR "scla" OR "social life cycle assessment" OR "social aspect" OR "social dimension" OR "social hotspot databse" OR "social life cycle impact assessment" OR "social footprint" OR "slca approach" OR "positive social impact" OR "potential social impact" OR "social impact category" OR "social life cycle assessment methodology" OR "slca study" OR "s lca methodology" OR "s lca study" OR "social assessment" OR "social impact assessment" OR "social lca" OR "social impact" OR "s lca")	4
Total			294

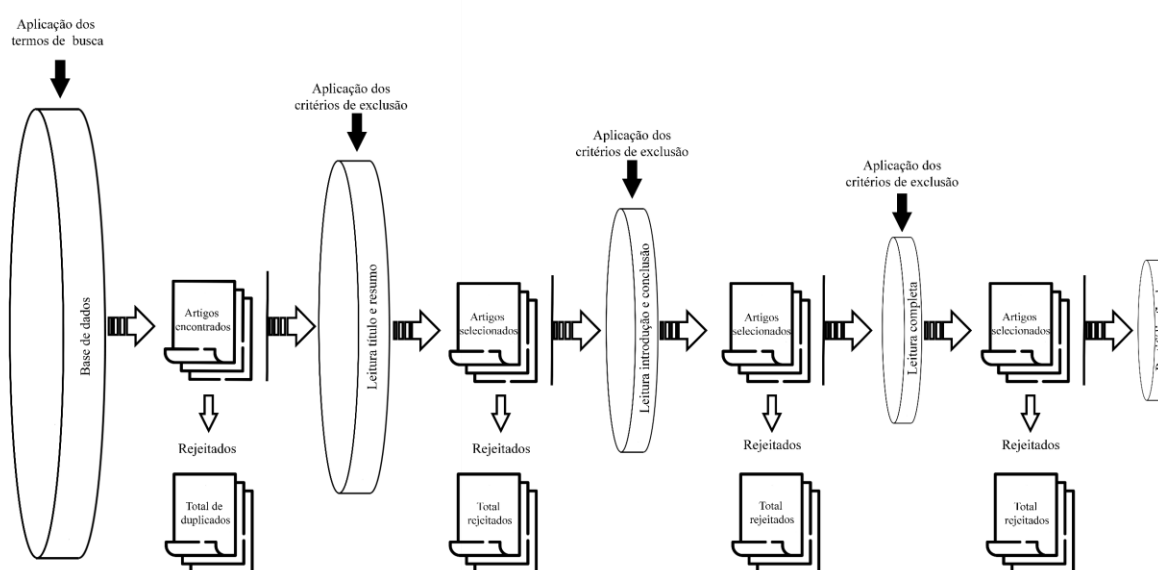
Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.5. Estratégia de leitura

Executou-se a leitura dos artigos, no *software* de sistematização de revisões Rayyan, cujo finalidade é contornar complexidades e desafios enfrentados por revisores de literatura para apoiar nesse processo (OUZZANI et al., 2016).

Para que façam parte do corpo de análise somente os artigos aderentes aos objetivos da pesquisa, são traçadas estratégias de leitura, visando em cada etapa, refinar os artigos. As etapas de avaliação de elegibilidade dos artigos consistem primeiramente na leitura do título e resumo; em seguida foram realizadas a leitura da introdução e conclusão de cada estudo; e, por fim, foi realizada a leitura completa (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012; CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011; GALVÃO; RICARTE, 2019) para se culminar nos artigos catalogados. Todas as etapas são excludentes, ou seja, se enquadrando nos critérios de exclusão o estudo não avança para a etapa seguinte. A Figura 8 sintetiza as etapas de triagem.

Figura 8 - etapas da estratégia de leitura



Fonte: adaptado Conforto, Amaral e Silva, 2011.

4.1.6. Análises

Diferentes abordagens analíticas foram realizadas nos estudos oriundos do processo de triagem, a fim de garantir identificação de lacunas ou erros em estudos anteriores. Bem como, o entendimento das informações e recursos necessários para a execução de uma avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida; a elaboração de estudos que preencham lacunas na literatura, contribuindo significativamente para uma produção mais sustentável, elucidam Galvão e Ricarte (2019). Os mesmos autores, afirmam que diferentes análises permitem também a sugestão de temas, problemas, hipóteses e abordagens metodológicas inovadoras; e a

maximização do uso dos recursos disponíveis para beneficiar a sociedade, o meio acadêmico, as instituições e os governos que apoiam a pesquisa científica.

Todas as análises foram apoiadas pelo *software* IRaMuTeQ, em sua versão 0.7 *alpha* 2 (RAMOS; DO ROSÁRIO LIMA; AMARAL-ROSA, 2019; CRISTOFINI, 2021), uma vez que o *software* permite analisar grande quantidade de textos visando novas possibilidades de análise e propondo uma interpretação para ser um caminho facilitador do conhecer seu teor (SALVIATI, 2017). Nesse sentido, serão abrangidas as análises de conteúdo, similaridade, fatorial de correspondência, nuvem de palavras e hierárquica de descendentes, detalhadas a seguir:

I. Análise de conteúdo: a partir dos preceitos de Bardin (2011) foram realizadas análises de conteúdo, cujo método é elo comum entre numerosas e diversificadas técnicas que reside em uma hermenêutica controlada, fundamentada na dedução, ou seja, na inferência, como um exercício interpretativo, a análise de conteúdo navega entre a rigidez da objetividade e a riqueza da subjetividade.

II. Análise de similaridade: por se constituir como um método estatístico emergente para comparar e agrupar diferentes tendências ou padrões ao longo do tempo (KRUGLIAK et al., 2023) a análise foi aplicada. A partir de uma medida de distância para quantificar a diferença em forma ou padrão entre diferentes séries temporais ou textos, tem sido amplamente utilizada em pesquisas envolvendo compreensão de textos, como uma revisão de literatura (CORDELLA et al., 2023; WANG; KUPERBERG, 2023).

III. Análise fatorial de correspondência: emprega a técnica de decomposição em valores singulares em uma matriz específica. Isso facilita a visualização de palavras em um espaço dimensional reduzido. Uma característica notável desse espaço é que os pontos, representando palavras, são projetados de forma a maximizar a inércia (ATKINSON-CLEMENT et al., 2022). Adicionalmente, a análise fatorial de correspondência oferece indicadores úteis para a análise dos eixos, tais como a medida em que uma palavra contribui para a inércia de um eixo, ou ainda a eficácia com que uma palavra ou documento é representado em um determinado eixo (PHAM et al., 2008).

IV. Análise de nuvem de palavras: a análise de nuvem de palavras se constitui como uma representação visual da frequência de palavras em um texto escrito (ATENSTAEDT, 2017) e foi aplicada no presente estudo, pois quanto mais frequente a

palavra no trecho analisado, maior ela aparece na imagem gerada, isso oferece um resumo dos principais temas contidos no texto (DE MORAIS SANTOS et al., 2022).

V. Análise hierárquica de descendentes: as classificações hierárquicas descendentes foram mais um método de análise empregado no presente estudo, pois são apropriadas para realizar análises longitudinais de dados secundários (CRISTOFINI, 2021). Elas são uma ferramenta estatística valiosa para lidar com dados textuais amplos e que atendem aos objetivos da pesquisa. Esse tipo de análise permite reduzir potenciais vieses resultantes da subjetividade do pesquisador, no momento de análise do conteúdo (RAMOS; DO ROSÁRIO LIMA; AMARAL-ROSA, 2019).

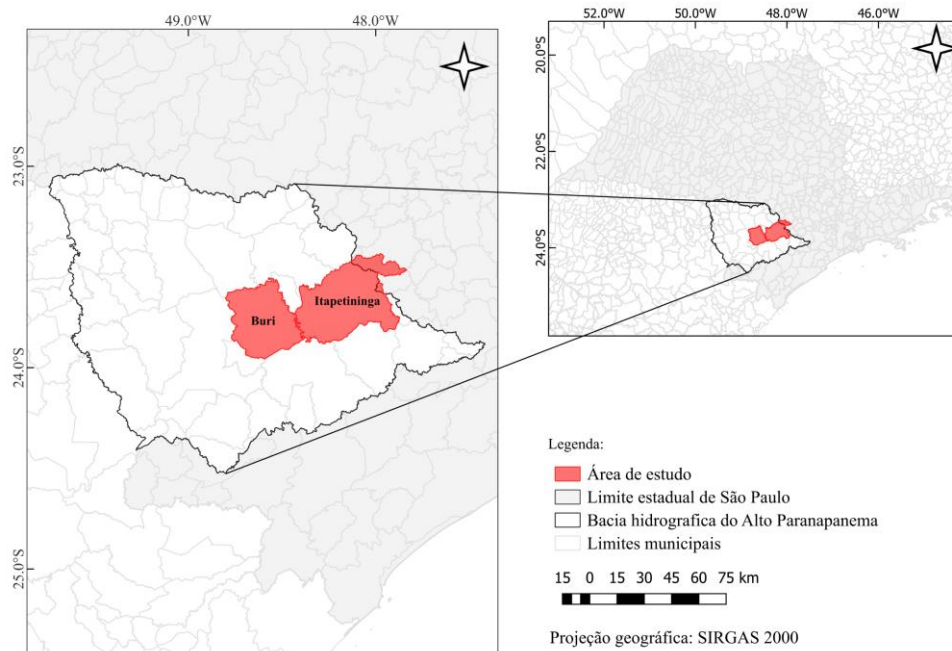
4.2. Metodologia avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida

Nessa seção estão dispostas as informações para a execução da avaliação ambiental, social e o custeio do ciclo de vida, considerando as normas ISO 14.040, 14.044 e a 14.075.

4.2.1. Descrição da região de estudo

A pesquisa foi realizada em dois municípios pertencentes a bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, sendo eles, Buri e Itapetininga. Cujas formação é composta por trinta e quatro municípios, além dos já mencionados fazem parte: Angatuba, Arandu, Barão de Antonina, Bernardino de Campos, Bom Sucesso do Itararé, Campina do Monte Alegre, Capão Bonito, Coronel Macedo, Fartura, Guapiara, Guareí, Ipaussu, Itaberá, Itaí, Itapeva, Itaporanga, Itararé, Manduri, Nova Campina, Paranapanema, Pilar do Sul, Piraju, Ribeirão Branco, Ribeirão Grande, Riversul, São Miguel Arcanjo, Sarutaiá, Taguaí, Taquarituba, Taquarivaí, Tejupá e Timburi. A Figura 9 demonstra a bacia do Alto Paranapanema e os municípios que a compõem, destacando-se em vermelho os municípios estudados. Os dados da Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados afirmam que a população total da região é de 756.664 habitantes, com uma área de 20.738,2 km (SEADE, 2022).

Figura 9 - bacia hidrográfica do Alto Paranapanema



Fonte: elaborado pelo autor.

A região é caracterizada pela forte presença do agronegócio, isso se deve ao final da década de 1950 no qual a configuração econômica do agronegócio avança. Estando praticamente esgotadas as zonas de fronteira agrícola ao norte e noroeste do Estado, os interesses dos grandes produtores agrícolas recaem sobre esta região, que passa a contar com extensas áreas de monocultura agrícola como: algodão, milho, feijão, trigo, laranja e soja (PORTO, 2014).

Em paralelo ao desenvolvimento do agronegócio, permaneceu presente a ocupação em larga escala da agricultura familiar, historicamente abandonada à sua própria sorte na região. Durante as décadas de 1960 e 1970, a ausência de políticas que beneficiassem este segmento da sociedade era evidente, embora a composição social da bacia fosse quase que em sua totalidade de pequenos agricultores camponeses. Com a chegada do agronegócio, ocorre um processo de deslocamento desta população para áreas de fronteira, em direção ao Vale do Ribeira, onde as terras de relevo muito acidentado não eram próprias para a atividade agrícola monocultora que ali se instalava (PORTO, 2014). Desta forma, em um processo histórico de exclusão, o agronegócio tomou conta das melhores e das mais produtivas terras, ocupando toda a área do planalto do Alto Paranapanema (SANTOS et al., 2024).

A região do Alto Paranapanema é marcada por uma profunda concentração de renda e terras, herança histórica que se intensificou nas últimas décadas (SANTOS et al., 2024). Apesar

de apresentar índices de geração de riqueza agrícola superiores à média estadual, essa concentração reflete um modelo econômico que beneficia apenas uma parcela reduzida da população, deixando a maioria em condições de vulnerabilidade (FAVARETO et al., 2019). Isso explica os baixos Índice de Desenvolvimento Humano nos municípios do Alto Paranapanema, com média de 0,702, inferior à média estadual de 0,820 (MILANI; OLIVEIRA, 2019). Esse cenário está intimamente ligado ao modelo agroindustrial predominante na região, que se baseia na produção em larga escala de monoculturas como cana-de-açúcar, laranja, grãos, pecuária bovina e silvicultura. Essa lógica produtiva está associada à dependência de tecnologias de alta intensidade e à integração ao capital financeiro, favorecendo grandes propriedades em detrimento da agricultura familiar e camponesa (REIS, 2015). Além de reforçar a concentração fundiária, esse modelo perpetua práticas de superexploração do trabalho, que, em casos extremos, configuram situações análogas à escravidão. Trabalhadores rurais enfrentam baixos salários, condições degradantes e jornadas intensas, refletindo as desigualdades estruturais que caracterizam a economia local (REIS, 2015).

A região é caracterizada economicamente, conforme Matheus (2016), pela exploração da agricultura, da pecuária de leite e do corte e da exploração da madeira para exportação. Nesse sentido 22,8% dos empregos formais estão na agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura, enquanto no estado de forma geral esse número corresponde a 2,3% (SEADE, 2022). Evidenciando uma importante fonte de geração de empregos. No entanto, Aguilar Filho (2011) traz luz a exploração do trabalho que permeia toda a produção agrícola da região de estudo, relatando a exploração de crianças em propriedades rurais sob o pretexto de educação e profissionalização, descrevendo como cinquenta meninos, principalmente negros ou pardos, foram retirados de um educandário no Rio de Janeiro e transferidos para fazendas em Campina do Monte Alegre, entre 1932 e 1941. Sob a guarda do Estado, foram submetidos a condições de trabalho não remunerado, jornadas exaustivas e formas de repressão como violência física e moral. Esses meninos trabalharam em atividades agrícolas e pecuárias, isolados da comunidade local e controlados por capatazes armados. Além disso, o mesmo autor menciona que essas fazendas eram de propriedade de indivíduos associados ao integralismo e com afinidades nazistas. A produção agropecuária, incluindo a criação de gado, carregava simbologia nazista, evidenciando uma conexão entre a exploração do trabalho e a ideologia racista e eugenista que permeava as práticas na época. Em igual sentido, Antunes Junior (2019), em estudo mais recente em Ribeirão Branco, relata que trabalhadores eram submetidos a condições extremamente precárias, com casos em que famílias inteiras, incluindo crianças, eram

empregadas em lavouras, com atividades como a mistura de agrotóxicos com o braço. Ademais, trabalhadores frequentemente trocavam sua força de trabalho por comida ou produtos vendidos pelo armazém das fazendas, reforçando uma relação de dependência exploratória.

O Estado de São Paulo representa 77% da produção de laranja *in natura*, com valores superiores a 12 milhões de toneladas e área de cultivo estimada em 369 mil hectares (FUNDECITRUS et al., 2023). Ramificada em 12 áreas de produção ao longo de todo o território do Estado, dentre elas Itapetininga, na qual, os municípios da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema estão inseridos. Para Buri o valor adicionado da agricultura ao produto interno bruto é de 40,6%, com a laranja sendo a principal produção, representando 31,9% (SEADE, 2022). Em Itapetininga o montante adicionado ao produto interno bruto pela agricultura representa 6,47%, a produção de laranja participa nessa porcentagem com 22,6% (SEADE, 2022).

Mas essa magnitude produtiva esconde um conjunto de desafios intrínsecos que englobam desde complexidades ambientais até implicações socioeconômicas. Essa última receberá especial atenção na presente pesquisa, com a investigação de dois distintos produtores orgânicos de laranja nos municípios supramencionados.

4.2.2. Objetivo

Aplicou-se a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida a dois produtores orgânicos de laranja para mensurar a sustentabilidade da produção orgânica de laranja frente a convencional. Realizada uma minuciosa revisão bibliográfica sistemática foi constatado que não há na literatura internacional estudos que utilizem a técnica de avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida para efeito de comparação entre produção orgânica e convencional de laranja, conforme evidenciado posteriormente nos resultados da revisão sistemática de literatura. O presente estudo é direcionado para produtores de laranja, o poder público e suas entidades voltadas ao setor agrícola brasileiro e a sociedade civil de maneira geral. Há a intenção de que os resultados da presente avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida sejam divulgados publicamente a todos aqueles interessados.

O Quadro 4 estabelece os objetivos de cada uma das abordagens do ciclo de vida em detalhes.

Quadro 4 - objetivos da avaliação ambiental, social e de custeio do ciclo de vida

<i>Tipo de avaliação</i>	<i>Objetivos</i>
Avaliação ambiental do ciclo de vida	Avaliar os impactos ambientais da produção de laranja orgânica para compará-los a produção convencional

	procurando evidenciar qual possui menos impactos ambientais potenciais.
Avaliação social do ciclo de vida	Avaliar os impactos sociais associados à produção de laranja orgânica comparativamente a produção convencional ao longo do estágio de produção, identificando os desdobramentos ao trabalhador, com o intuito de constatar qual dos sistemas contribui mais para as práticas sustentáveis e responsabilidade social entre os produtores.
Custo do ciclo de vida	A produção orgânica de laranja foi comparada com a produção convencional através do custo do ciclo de vida convencional. Abrangendo os custos internos de produção e manutenção do plantio.

Fonte: elaborado pelo autor.

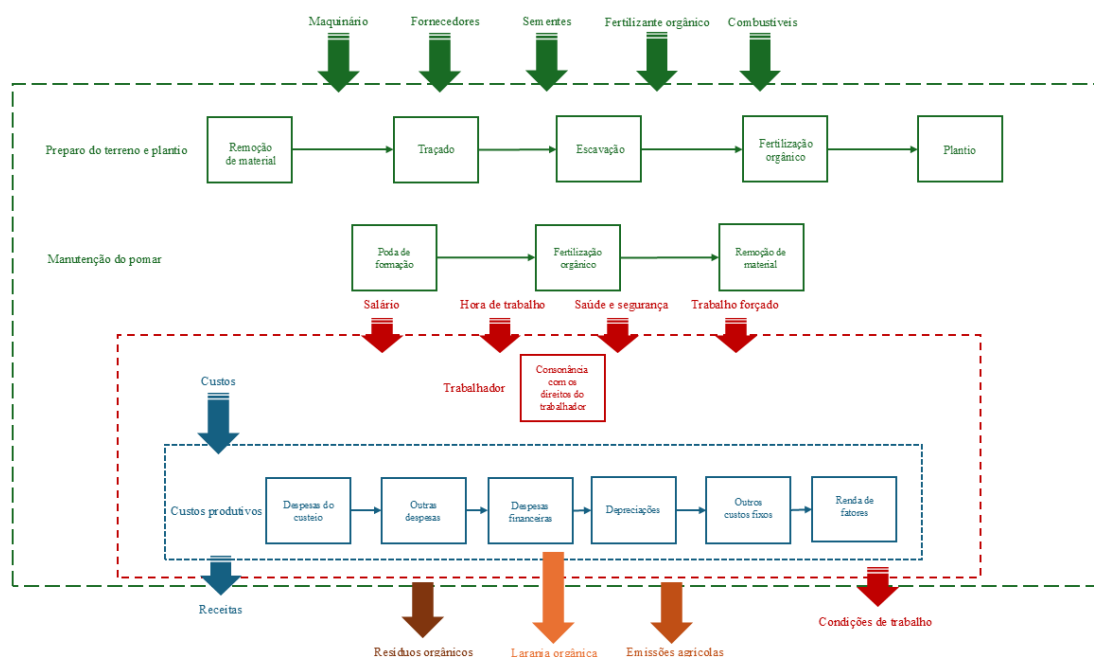
4.2.3. Escopo

A presente avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida adota a abordagem do portão ao portão. A função do sistema do produto consiste na produção de laranja orgânica. A partir das orientações fornecidas pelo estudo de Van Der Werf, Knudsen e Cederberg (2020) a unidade funcional se qualifica como 1 quilo de produção de laranja orgânica. Enquanto o sistema do produtor buriense precisa de aproximadamente 120,5 metros quadrados para produzir 1 quilo de laranja, o produtor itapetiningano precisa de aproximadamente 5 metros para os mesmos 1 quilo.

4.2.3.1. Fronteira do sistema

As fronteiras do sistema para a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida são apresentadas na Figura 10. Para a avaliação ambiental do ciclo de vida foram considerados o cultivo da laranja, que envolve insumos e saídas, como fertilizantes, sementes e consumo de combustível para um metro quadrado de cultivo.

Figura 10 - fronteira do sistema da produção orgânica de laranja para ASCV



Fonte: elaborado pelo autor.

Para ambas as produções analisadas, existem oito subsistemas. Compostos por aqueles aderentes ao preparo do terreno e plantio, configurados pela remoção de material, que consiste na limpeza do terreno, retirando vegetação indesejada, pedras e outros detritos que possam impedir o plantio, realizado manualmente.

Adicionalmente, há a introdução de pseudocaule de banana, plantado em correlação com os pés de laranja para a produção de Itapetininga. O traçado define as dimensões do terreno, determinando o espaçamento entre os pés, com 2400 metros quadrados de área destinadas a produção em Buri, enquanto em Itapetininga a área corresponde a 5000 metros quadrados, onde as linhas da produção cítrica possuem espaçamento de 6 metros e os pés possuem espaçamento de 5 metros. A escavação foi realizada em sulcos com 30 centímetros de profundidade.

A fertilização orgânica foi realizada após a escavação, aplicando-se fertilizante oriundo de esterco de gado bovino leiteiro para melhorar a estrutura do solo e promover a retenção de água e nutrientes. E o plantio, que aconteceu pela inserção das mudas na área previamente preparada. Para a manutenção do pomar, os limites envolveram a poda de formação, para moldar a estrutura das árvores de laranja e garantir seu desenvolvimento saudável e produtivo, como é uma produção recente, iniciada em 2019 a poda é realizada removendo galhos mal posicionados, fracos ou excessivamente longos, permitindo a melhor distribuição de luz e ventilação, para criar uma copa equilibrada que suporte o peso dos frutos, evite o acúmulo de umidade e minimize o risco de doenças. Uma nova aplicação dos fertilizantes de esterco bovino

é realizada para promover o crescimento saudável das árvores e aumentar a biodiversidade do solo, incentivando a atividade de microrganismos benéficos. Além da remoção de material, que envolve a limpeza do pomar, retirando galhos podados, folhas secas e outros detritos que se acumula no solo. Essa prática evita a propagação de pragas e doenças, garantindo a saúde das plantas.

Os limites do custeio do ciclo de vida englobam os custos de produção, quanto ao processo de preparo do solo e plantio, como combustível para máquinas, insumos (sementes, fertilizantes), e mão de obra utilizada para o preparo do terreno e plantio. Outras despesas incluem custos variáveis e indiretos, como manutenção de equipamentos, transporte de insumos até o local de cultivo. Despesas financeiras, correspondem aos encargos de financiamentos e empréstimos obtidos para a compra de insumos, máquinas ou outros investimentos necessários para o preparo do terreno e plantio. A depreciação é o limite para estabelecer a perda de valor dos ativos, em máquinas e equipamentos utilizados no plantio e manutenção do solo. Outros custos fixos se limitam a despesas que não variam diretamente com o volume de produção, como salários de funcionários permanentes, seguros, arrendamentos de terra e custos administrativos. E a renda dos fatores, limitou-se à remuneração do capital investido (juros sobre o capital próprio), da terra (aluguéis ou arrendamentos) e do trabalho (salários e benefícios da mão de obra).

Para a avaliação social do ciclo de vida os limites do sistema englobam o trabalhador, com entradas em relação ao salário, hora de trabalho, saúde e segurança, e, trabalho forçado. Inerentes as atividades relacionadas ao plantio, manutenção do pomar e colheita, configurando as condições de trabalho compreendidas a luz dos direitos trabalhistas inerentes à relação laboral.

4.2.3.2. Categorias de impacto

Para o alcance dos objetivos ora traçados e a partir da revisão bibliográfica sistemática realizada são evidenciadas as categorias de impactos consideradas para a presente avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida.

Foram consideradas apenas impactos denominados de pontos médios (*midpoints*) abrangendo no que tange a abordagem ambiental do ciclo de vida: mudança climática - longo prazo (MC (longo)), mudança climática - curto prazo (MC (curto)), uso de energia fóssil e nuclear (UEFN), acidificação de água doce (AAD), ecotoxicidade em água doce (EAD), eutrofização de água doce (EuAD), toxicidade humana - cancerígena (TH), toxicidade humana

- não-cancerígena (TH não-câncer), radiações ionizantes (RI), ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT), transformação de terras - perda de biodiversidade (TT), eutrofização marinha (EM), uso de recursos minerais (URM), degradação da camada de ozônio (DMO), formação de material particulado (FMP), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), acidificação terrestre (AT), escassez de água (EA), dispostas na metodologia IMPACT World+ (BULLE et al., 2019).

Já para as categorias de impacto do custo do ciclo de vida, foram considerados os custos por atividades e outras categorias de custo, conforme o custeio convencional (CIROTH et al., 2008). Englobando, os custos delimitados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024), compostos por: despesas do custeio, outras despesas, despesas financeiras, depreciações, outros custos fixos, renda de fatores.

As categorias de impacto para a abordagem social do ciclo de vida, seguem as assertivas de Traverso et al. (2021), envolvendo: o trabalhador, englobando, salário justo, horas de trabalho, trabalho forçado, e, saúde e segurança.

4.2.3.3. Metodologia para avaliação de impactos

A avaliação do ciclo de vida ambiental tem como método de avaliação de impacto os modelos apresentados pela IMPACT World+, uma vez que proporciona a regionalização dos impactos para a avaliação do impacto do ciclo de vida, integrando impactos intermediários, impactos de danos, danos à saúde humana, qualidade do ecossistema e áreas de proteção de recursos e serviços ecossistêmicos, e, danos nas áreas de preocupação com água e carbono (BULLE et al. 2019).

O custo do ciclo de vida é caracterizado pela forma como o valor do dinheiro no tempo é considerado e pelo grau de não linearidade que relaciona saídas e entradas, nesse sentido, a metodologia aplicada para essa abordagem será a quase-dinâmica, configurada como um compromisso entre modelos de estado estacionário e dinâmicos. Assumindo que a maioria das variáveis permanecem constantes no tempo, embora permitam que uma ou mais delas variem, utilizada para estudos que utilizem apenas os custos internos, relacionados à abordagem convencional (CIROTH et al., 2008; LEITE, 2016).

A avaliação social do ciclo de vida foi aplicada a partir da metodologia expressa pela norma ISO 14.075 (2024) que descreve a estrutura para avaliar os impactos sociais positivos e negativos de produtos considerando a *Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment* (TRAVERSO et al., 2021). Por meio da abordagem de escala de referência,

utilizada para avaliar o desempenho social de um sistema de produto, permitindo medir o desempenho social usando escalas de referência predefinidas para comparar resultados de inventário com melhores práticas, no presente estudo a legislação trabalhista vigente no Brasil foi a escala de referência.

4.2.3.4. Requisitos de qualidade dos dados

Os dados são caracterizados pela representatividade, considerando todas as informações dos materiais e insumos usados no processo produtivo, qualificados e representativos da produção orgânica, nesse sentido, foram levantados junto ao produtor informações que refletem as condições específicas sob as quais o produto é produzido, usado e descartado, incluindo práticas de produção, tecnologias e padrões de consumo. Consistência, através de questionários para levantamento dos dados sociais, e planilhas para os dados econômicos e ambientais, na qual foi elucidado ao produtor como deve ser preenchida as informações, além de auxiliar no que for necessário para o acesso aos dados e entendimento do que se solicita. Precisão, a qual foi enfatizada a necessidade de dados reais, e em caso de não existência mencionar esse fato para inserir como restrição do estudo. Completude, uma vez que todos os dados relevantes para o estudo foram coletados e incluídos na análise, abrangendo dados sobre todas as entradas e saídas significativas da produção de laranja. Transparência, permitindo verificar e rastrear a origem dos dados, os métodos de coleta e os cálculos usados. Qualidade da fonte, por estar vinculado diretamente ao produtor, todos os dados foram provenientes de fontes confiáveis e reconhecidas, além de informações coletadas diretamente de processos produtivos, bem como em estudos científicos revisados por pares e relatórios nacionais de entidades públicas.

4.2.4. Inventário do ciclo de vida

4.2.4.1. Coleta de dados

4.2.4.1.1. Avaliação ambiental do ciclo de vida

A coleta dos dados ambientais do ciclo de vida foi realizada por meio de entrevistas presenciais com as partes interessadas durante os meses de março a agosto de 2024, a estrutura de coleta das informações segue os parâmetros estabelecidos pela ISO 14.044 (ISO, 2006b) e são evidenciadas pelo ANEXO 1. As conversas consistiram em compreender como o sistema orgânico está estruturado dentro da propriedade, englobando as informações sobre o preparo do

solo, as mudas, a manutenção do pomar, a produção e a coleta das laranjas. Houve observação sistemática (GIL, 2017) a fim de compreender em detalhe o *modus operandi* da propriedade agrícola, com vistas a determinar uma descrição da localidade. Os dados que o produtor não foi capaz de fornecer foram complementados por meio da literatura, além da base de dados Ecoinvent 3.7 para os processos de *background*, prática usual em estudos de avaliação do ciclo de vida ambiental (OLIVEIRA et al., 2021), dada a não habitualidade do objeto pesquisado de relatar e armazenar os dados inerentes a seu processo produtivo, apenas aqueles compreendidos como essenciais para o negócio. Nesse sentido, os dados do esterco bovino são oriundos do estudo de Silva et al. (2024), e os resíduos deixados no solos (laranja) foram baseados no estudo de Coelho et al. (2019). Os dados referentes as mudas consideraram as informações do Ecoinvent.

4.2.4.1.2. Custeio do ciclo de vida

A coleta dos dados relativos ao custeio do ciclo de vida foi sistematizada em uma planilha do Excel, e realizada por meio de questionário elucidado no ANEXO 2, elaborado pelo autor a partir da estrutura de custeio criada pela norma nº. 30.302 (CONAB, 2018) que consistiu no mapeamento de todos os custos internos relativos ao processo produtivo. Adicionalmente foi considerada as assertivas de Garrison, Noreen e Brewer (2013), Batalha et al. (2021), Citroth et al. (2008), no qual, o primeiro propõe uma estrutura de custos, ao passo que o segundo evidencia como os custos são aplicados a uma produção agrícola e por fim, o terceiro estabelece diretrizes para o custeio do ciclo de vida, elucidando três potenciais caminhos, com os custos societal, custo ambiental e custo convencional.

4.2.4.1.3. Avaliação social do ciclo de vida

Os dados para a avaliação social do ciclo de vida foram coletados a partir de questionário elaborado com base nas assertivas da norma ISO 14.075 (2024) e Traverso et al. (2021) para alcançar as subcategorias de impacto salário justo, hora de trabalho, trabalho forçado, e saúde e segurança, inerentes aos trabalhadores. O ANEXO 3 estabelece as informações do questionário.

4.2.4.1.4. Entrevistas

A coleta dos dados para avaliação ambiental, de custeio e social do ciclo de vida pressupõe entrevistas, nesse sentido, foram elaboradas perguntas com roteiros semiestruturados. Isso significa que foi considerado os parâmetros elucidados por Traverso et al. (2021), para a ênfase social, mas também foi possível que os trabalhadores e proprietários encaminhem a conversa para a direção que fizer mais sentido a eles, então foi preciso estar aberto a outros assuntos que surgirem durante as entrevistas. Esse tipo de entrevista permite que se explore, em profundidade, todos os assuntos que surgirem. Baseado na teoria de Lune, Pumar e Koppel (2009), a conversa entre o pesquisador e a pessoa entrevistada leva a respostas que até mesmo o entrevistador inicialmente não estava ciente; isso então se torna útil para a pesquisa, pois é capaz de ampliar os horizontes e ajuda a chegar ao cerne dos objetivos traçados.

Por envolver seres humanos, a pesquisa incorre em riscos inerentes a danos quanto a dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social e cultural tornando necessária sua apreciação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE, 2016), nesse sentido, o projeto foi submetido à apreciação ética sob número 81656224.8.0000.5504, conforme ANEXO 4. O qual já foi devidamente aprovado.

4.2.4.1.5. Pesquisa documental

A pesquisa documental foi aplicada como forma de triangulação das informações evidenciadas nas entrevistas (MUTHU, 2019). Por meio desta técnica, foi possível examinar os aspectos inerentes às partes interessadas do ciclo de vida social nas operações da produção de laranja que estejam disponíveis em base de dados governamental, bem como, documentos pessoais e empresariais que se mostrarem relevantes, além de dados da literatura.

4.2.4.1.6. Pesquisa de campo

O pesquisador acompanhou as atividades de produção da laranja, onde foram observadas as operações na propriedade agrícola. Durante essas observações, concentrou-se intensamente em como os trabalhos são executados na propriedade, relacionando isso às implicações sociais e econômicas. De acordo com Gil (2017), a pesquisa de campo é geralmente usada para estudos exploratórios e descritivos, portanto, esse tipo de técnica de coleta de dados é o mais adequado para este estudo. A pesquisa de campo permitiu a obtenção de experiência

em primeira mão. Na qual, foi identificado o modo de execução das atividades, disposição das plantas pela área produtiva, a forma de coleta e a disposição das frutas colhidas no barracão.

4.2.4.2. Processamento dos dados

O processamento dos dados consistiu na atividade de realização dos cálculos e conversões dos valores para a unidade funcional. Nesse sentido, para a avaliação ambiental do ciclo de vida, os cálculos foram realizados conforme a descrição na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - cálculos para processamento dos dados

<i>Fluxo</i>	<i>Cálculo</i>	<i>Referência</i>
Ocupação da terra	$\frac{ADCL}{1 \text{ hectare}}$	
Transformação da terra	$\frac{ADCL}{1 \text{ hectare}} = \frac{x}{ADCL}$	
Muda	$\frac{\text{Unidade de mudas utilizadas na produção}}{\text{Tempo de geração de frutos}}$	Fortaleza et al. (2016a)
Esterco de gado	$\text{Quantidade de esterco demandada} \times ADCL$	Oshiro et al. (2016)
Combustível trator (diesel)	$\left(\text{Litros de combustível utilizados} \times \frac{\text{Mega Joule}}{\text{Quilograma (KG)}} \right) \times \frac{X \text{ quilograma}}{\text{litros}}$	Silva et al. (2012)
Combustível roçadeira (gasolina)	$\left(\text{Litros de combustível utilizados} \times \frac{\text{Mega Joule}}{\text{Quilograma (KG)}} \right) \times \frac{X \text{ quilograma}}{\text{litros}}$	ANP (2022); Silva et al. (2012)
Emissões para o ar (óxido nitroso)	$N_2O_{AD.ORG} = Q_{ORG} \times N_{ad} \times (1 - FRAC_{GASM}) \times EF_1 \times \frac{44}{28}$	WRI Brasil; UNICAMP (2015)
Dióxido de carbono para mudanças no uso da terra	$\text{Software Brazilian Land Use Change (BRLUC)}$	EMBRAPA (2022)

Os fluxos de ocupação da terra e transformação da terra são calculados por meio da divisão entre a área dedicada ao cultivo de laranja (ADCL) e 1 hectare resultando no valor da área de cultivo. Quanto a muda divide-se a quantidade de mudas aplicadas na área de cultivo de laranja pelo tempo de geração de frutos. O esterco consiste na quantidade de esterco demandada multiplicado pela área dedicada ao cultivo de laranja. O combustível do trator e da roçadeira é constituído pelos litros de combustível utilizados multiplicado pelo Mega Joule gerado pelo combustível dividido pelo quilograma (kg) do combustível multiplicado pelo quilograma do combustível dividido pelo litro do combustível. As emissões para o ar (óxido nitroso) consistem na equação fornecida pelo *Greenhouse Gas Protocol* (GHG Protocol) (WRI BRASIL; UNICAMP, 2015), onde: $N_2O_{AD.ORG}$ é a emissão de óxido nitroso vinculada à aplicação de fertilizantes orgânicos (kg N_2O /kg de adubo aplicado); Q_{ORG} é a quantidade de adubo orgânico aplicado (kg); N_{ad} é o percentual de nitrogênio do adubo orgânico (%); $FRAC_{GASM}$ é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH_3 e NO_x (%); EF_1 é o fator de emissão (%). $\frac{44}{28}$ é a Conversão de N- N_2O para N_2O . O dióxido de carbono para mudanças no uso da terra foi calculado através do *software* fornecido pela EMBRAPA (2022), intitulado *Brazilian Land Use Change* (BRLUC).

Os procedimentos para processar os dados do custeio do ciclo de vida consideraram a norma metodológica do custo de produção 30.302 da Conab (2018).

4.2.5. Avaliação do impacto do ciclo de vida

Nessa etapa será evidenciada a estrutura de cada avaliação de impacto para as três abordagens do ciclo de vida, considerando os pressupostos estabelecidos pelas normas ISO 14.040, 14.044, 14.075 (2006a, 2006b, 2024) e a norma metodológica do custo de produção 30.302 (CONAB, 2018).

4.2.5.1. Avaliação do impacto do ciclo de vida ambiental

A norma ISO 14.044 estabelece como elementos mandatórios para a avaliação de impacto do ciclo de vida ambiental: a seleção das categorias de impacto, dos indicadores de categoria e dos modelos de caracterização; classificação e caracterização. As categorias de impacto selecionadas estão dispostas na seção 4.2.3, em sua ramificação 4.2.3.2.

Os impactos constatados no inventário do ciclo de vida conectam emissões e recursos primários a indicadores de categorias de impacto (consistindo na etapa de classificação). Nesse

sentido, o indicador de categoria é o resultado de um modelo simplificado de certa realidade mais complexa, oferecendo uma aproximação do estágio de impacto de um sistema produtivo (CURRAN, 2012). Os indicadores e os modelos de caracterização para cada categoria de impacto, seguiram as definições do método IMPACT World+ (BULLE et al., 2019) descritas no Quadro 5, a seguir:

Quadro 5 - indicadores de categoria

<i>Categoria de impacto</i>	<i>Indicador de categoria de impacto</i>
Mudança climática (longo prazo)	kg CO ₂ eq. (longo prazo)
Mudança climática (curto prazo)	kg CO ₂ eq. (curto prazo)
Uso de energia fóssil e nuclear	MJ privados
Acidificação de água doce	kg SO ₂ eq.
Ecotoxicidade em água doce	CTUe
Eutrofização de água doce	kg PO ₄ P-lim. eq.
Toxicidade humana (cancerígena)	CTUh
Toxicidade humana (não-cancerígena)	CTUh
Radiações ionizantes	Bq C-14 eq.
Ocupação de terras (perda de biodiversidade)	m ² de terras aráveis eq.ano
Transformação de terras (perda de biodiversidade)	m ² de terras aráveis eq.
Eutrofização marinha	kg N N-lim. eq.
Uso de recursos minerais	kg privados
Degradação da camada de ozônio	kg CFC-11 eq.
Formação de material particulado	kg PM _{2.5} eq.
Formação de oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC eq.
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq.
Escassez de água	m ³ eq. mundial

Fonte: adaptado Bulle et al., 2019.

A pontuação de impacto no nível intermediário (*midpoint*) é proporcionada pela Equação 1. O cálculo, que consiste na etapa de caracterização, envolve multiplicar os fluxos elementares (recursos ou emissões) por fatores de caracterização que representam como essas quantidades contribuem para o impacto ambiental, e depois somar esses resultados para obter uma medida total do impacto para uma categoria específica (BULLE et al., 2019). Os cálculos foram realizados pelo software *OpenLCA*, na versão 2.0.3 (HILDENBRAND; SROCKA; CIROTH, 2005).

$$I_a^k = \sum_s \sum_i CF_{ai}^{sk} M_{ia}^s \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

I_a^k = pontuação de impacto no nível intermediário (*midpoint*) ou de dano para a categoria de impacto (k) e uma região emissora (a);

s = fluxo elementar;

i = compartimento ambiental;

CF_{ai}^{sk} = fator de caracterização para o fluxo elementar (s), categoria de impacto (k) e compartimento ambiental (i) em uma região emissora (a); e,

M_{ia}^s = fluxo elementar do inventário emitido (s) ou extraído de um compartimento ambiental (i) em uma região emissora (a).

4.2.5.2. Avaliação do impacto do custeio do ciclo de vida

Os custos foram quantificados na moeda nacional vigente, o real (R\$) e convertido para a média do dólar americano (US\$) entre 01 de janeiro de 2024 a 31 de dezembro de 2024, conforme dados obtidos pelo Banco Central considerando o preço de venda da moeda americana, com valor de US\$ 5,3920 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2024). Foram considerados somente os custos internos das propriedades orgânicas estudadas (RÖDGER; KJÆR; PAGOROPOULOS, 2018). Para obter uma visão geral dos pontos críticos da produção de laranja foram considerados o estágio do ciclo de vida da produção, sob a perspectiva do produtor rural, visando analisar cada custo em detalhe durante a produção (RÖDGER; KJÆR; PAGOROPOULOS, 2018).

Para a avaliação do impacto do custeio do ciclo de vida foi considerado um modelo quase dinâmico, assumindo que a maioria das variáveis permanece constante ao longo do tempo, embora permitam que uma ou mais delas variem (CIROTH et al., 2008). Adicionalmente, foram consideradas as receitas oriundas das vendas de laranja orgânica, uma vez que Ciroth et al. (2008) instruem que tanto os custos quanto as receitas devem ser considerados no custeio do ciclo de vida.

Existem duas formas principais de calcular os custos produtivos: pelos preços de mercado ou pelos custos dos fatores, levantados internamente. Para a presente pesquisa serão combinados os dados de mercado com os custos internos levantados com os produtores, sendo especificado qual está sendo utilizado (CIROTH et al., 2008). Para os processos produtivos os custos são refletidos tanto nos preços pagos por recursos adquiridos quanto nos gastos com bens de capital e mão de obra. A diferença entre as vendas da empresa e os custos de aquisições representa o valor agregado bruto (ARULNATHAN et al., 2022).

Ciroth et al. (2008) estabelecem quatro níveis para as categorias de custo, sendo: o nível um os custos econômicos, o nível dois os custos dos estágios do ciclo de vida, nível três são pelos tipos de atividades, e, o nível quatro são outras categorias de custos. Os custos econômicos relevantes para a perspectiva convencional do custeio do ciclo de vida são os custos de orçamento e os custos de mercado, para a presente pesquisa serão considerados somente os custos de mercado, pois os dados de orçamento não estão documentados pelos produtores. O nível dois se relaciona com a completude do sistema, nesse sentido, foram considerados

somente os dados do portão ao portão (*gate-to-gate*), mais especificamente quanto ao sistema produtivo e de vendas das laranjas.

O terceiro e quarto nível, receberam mais atenção, pois detalha os custos pelos tipos de atividade como forma de cobrir as informações ainda não dispostas no nível anterior, considerando os custos estruturados pela CONAB (2024), a qual, estabelece uma série histórica dos custos mais usuais e seus indicadores para a produção de laranja para agricultura familiar, relatados no Quadro 6, a seguir:

Quadro 6 - custos de produção para a laranja

<i>Tipo de custo</i>	<i>Indicadores de custo</i>
Despesas do custeio	Operação com animal Operação com avião Operação com máquinas: tratores e colheitadeiras; conjunto de irrigação Aluguel de máquinas Aluguel de animais Mão de obra Administrador Sementes e mudas Fertilizantes Agrotóxicos Receita Outros: embalagens/utensílios, análise de solo, demais despesas Serviços diversos
Outras despesas	Transporte externo Despesas administrativas Despesas de armazenagem Beneficiamento Seguro da produção Seguro do crédito Assistência técnica Classificação Outros Contribuição especial para a seguridade social rural
Depreciações	Depreciação de benfeitorias/instalações Depreciação de implementos Depreciação de máquinas Exaustão do cultivo
Outros custos fixos	Manutenção periódica benfeitorias/instalações Encargos sociais Seguro do capital fixo Arrendamento
Renda de fatores	Remuneração esperada sobre o capital fixo Remuneração esperada sobre o cultivo Terra própria

Fonte: CONAB (2024).

O custo de produção é a soma dos valores de todos os recursos usados na atividade agropecuária (CONAB, 2018). E são desdobrados pelos custos variáveis que incluem todos os componentes que surgem durante o processo produtivo, ou seja, aqueles que só ocorrem se houver produção. Enquadram-se nos custos variáveis os itens de custeio, as despesas de pós-

colheita e as despesas financeiras, constituindo-se, no curto prazo, numa condição necessária para que o produtor continue na atividade. Custos variáveis são valores que podem ser mensurados diretamente, determinados de acordo com os preços praticados pelo mercado. O custeio é a despesa direta com máquinas, mão de obra temporária e permanente, sementes, fertilizantes, agrotóxicos, realização de tratamentos culturais e a colheita. Outras despesas referem-se ao beneficiamento, despesas administrativas, assistência técnica, seguro agrícola, transporte, armazenagem, impostos, taxas e juros sobre o custeio (CONAB, 2018).

Para os custos fixos, os mesmos autores anteriormente citados, mencionam que sua mensuração ocorre de maneira indireta, por meio da imputação de valores que deverão representar o custo de oportunidade de seu uso, enquadram-se os elementos de despesas suportados pelo produtor, independente do volume de produção. Nesta categoria enquadram-se despesas com depreciações, exaustão do cultivo (culturas permanentes), encargos sociais e seguro do capital fixo. Já o custo operacional, é composto por todos os itens de custos variáveis (despesas diretas) e a parcela dos custos fixos diretamente associada à implementação da lavoura (CONAB, 2018). A renda dos fatores consiste na renda dos fatores fixos, considerada como remuneração esperada sobre o capital fixo e sobre a terra. E o custo total, compreende o somatório do custo operacional mais a remuneração atribuída aos fatores de produção (CONAB, 2018).

Os custos produtivos podem estar incompletos, nesse sentido, serão considerados custos estimados para a produção que envolve a aproximação dos custos com base nas informações disponíveis no momento, como insumos, mão de obra, e práticas agrícolas específicas (RÖDGER; KJÆR; PAGOROPOULOS, 2018). A estimativa dos custos utilizou a abordagem de baixo para cima (*bottom-up*) a qual agrega os custos a partir de várias fontes, como os custos específicos de cada insumo (sementes, fertilizantes orgânicos, defensivos naturais), a quantidade de mão de obra necessária para cada tarefa e os custos de transporte e distribuição (CIROTH et al., 2008). Essa abordagem é mais detalhada e permite uma compreensão mais precisa de onde estão concentrados os maiores gastos. Ademais, métodos informais, como o julgamento de especialistas (por exemplo, agrônomos ou produtores experientes), ou a analogia com produções anteriores, foram utilizados para complementar essas estimativas. Também foram usadas estimativas de custos paramétrica, na qual os custos são modelados com base em parâmetros de área plantada e número de árvores (CIROTH et al., 2008).

4.2.5.3. Avaliação do impacto social do ciclo de vida

Nessa etapa procura-se integrar os dados do inventário social em subclassificação e classificação, e ajudar a entender a magnitude e a significância dos dados coletados na etapa de análise de inventário, utilizando informações externas (YANG et al., 2020).

As fases da avaliação do impacto social do ciclo de vida consistem em três etapas obrigatórias, conforme estabelecido pela ISO 14.075 (2024), sendo a escolha das categorias de impacto, métodos de caracterização e modelos de caracterização (classificação) associado aos dados do inventário com a subclassificação específica e a classificação de impacto do inventário social do ciclo de vida.

As categorias de impacto sociais estão descritas na seção 4.2.3, subitem 4.2.3.2. A categoria de impacto selecionada teve sua classificação quanto às subcategorias salário justo, hora de trabalho, trabalho forçado, e saúde e segurança, em conformidade com as diretrizes estabelecidas por Traverso et al. (2021) para as subcategorias quanto ao trabalhador. Adicionalmente, a delimitação por essas subcategorias é o reflexo da revisão de literatura que constatou as supramencionadas subcategorias como as mais frequentes em estudos relacionados à avaliação social do ciclo de vida e produção de laranja (DE LUCA et al., 2015; IOFRIDA et al., 2019; MUÑOZ TORRES et al., 2022).

O cálculo dos resultados das categorias e subcategorias são evidenciados pelos métodos de caracterização. Nesse sentido, na abordagem social do ciclo de vida, os modelos de caracterização sob os mecanismos de influência social e econômica nem sempre podem ser operados matematicamente (YANG et al., 2020). Os mesmos autores continuam, em virtude de ser uma etapa de integração lógica, que agrega palavras ou informações do inventário em um único conceito, e por mesclar dados quantitativos do inventário social e sociométrico em uma única categoria, é complexa sua conversão nas subcategorias de impacto (MUTHU, 2019). O modelo de caracterização também pode ser mais complexo, incluindo o uso de informações adicionais (YANG et al., 2020).

O modelo de caracterização usado é a escala de referência que estabelece um sistema de pontos, vinculado às categorias de impacto, a qual determina as áreas a serem avaliadas e são descritas no item 4.2.3.2, para ajudar a avaliar o significado dos dados do inventário, proporcionando uma estimativa sobre o impacto (ISO, 2024), evidenciado pela Tabela 3, a seguir:

Tabela 3 - sistema de pontos para a avaliação de impacto do ciclo de vida

Pontos	+1	0	-1

Definição da escala de referência	Desempenho acima da média do ponto de referência de desempenho	Desempenho correspondente ao ponto de referência de desempenho recomendado/obrigatório	Desempenho abaixo da média do ponto de referência de desempenho

Fonte: adaptado ISO (2024).

O sistema de pontos é atribuído com a legislação trabalhista nacional (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), bem como, normas regulamentadoras para saúde e segurança do trabalho (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978), que estabelecem as condições adequadas de trabalho e foi o ponto de referência de desempenho, considerando as diferentes subcategorias de impacto. Os indicadores para cada subcategoria foram construídos a partir das assertivas de Traverso et al. (2021) e demonstrados no Quadro 7.

Quadro 7 - indicadores das subcategorias sociais de impacto

<i>Parte interessada</i>	<i>Subcategoria de impacto</i>	<i>Indicadores</i>
Trabalhador	Salário justo	Trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo Presença de deduções suspeitas nos salários Pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal)
	Hora de trabalho	Número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados Número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados Respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras A organização oferece flexibilidade
	Trabalho forçado	Os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo Certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego Os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador
	Saúde e segurança	Número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização Presença de regras referente à saúde e segurança Equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis

Fonte: adaptado Traverso et al. (2021).

Os indicadores foram avaliados pela aplicação do sistema de pontos para categorizar o desempenho conforme o método de avaliação de impacto delineado na ISO 14.075 (2024) demonstrado na Tabela 3. As métricas para cada indicador do sistema de pontos são descritas no APÊNDICE 1.

As bases legislativas para comparação quanto à subcategoria salário justo se constituem pela lei nº. 14.663 que define o valor do salário-mínimo a partir de 1º de maio de 2023, estabelecendo a política de valorização permanente do salário-mínimo que passa a vigorar a partir de 1º de janeiro de 2024 (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2023) e a lei nº. 17.692 que define o piso salarial dos trabalhadores do Estado de São Paulo (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023).

As subcategorias hora de trabalho, trabalho forçado e, saúde e segurança tem como bases comparativas a legislação nº. 5.452 de 1943 que estatui as normas para regulamentar as relações individuais e coletivas de trabalho, bem como, definem as regras sobre horários de trabalho (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), integrado a dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) pelo censo agropecuário de 2017, que estabelece, dentre outros aspectos, o tempo disposto pelos trabalhadores rurais para a produção de laranja. E a portaria nº. 3.214 (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978) que estabelece as normas brasileiras para a segurança do trabalho, ramificadas em norma brasileira nº. 1, que trata das disposições gerais; norma brasileira nº. 6, aborda equipamento de proteção individual (EPI); norma brasileira nº. 7, sobre exames médicos; norma brasileira nº. 15 acerca das atividades e operações insalubre; norma brasileira nº. 17 sobre ergonomia; e a, norma brasileira nº. 21 sobre trabalhos a céu aberto.

4.2.6. Interpretação

A interpretação dos dados de inventário e avaliação do ciclo de vida será por meio da análise de pontos críticos (*hotspots*) e de sensibilidade.

4.2.6.1. Análise de pontos críticos (*hotspots*)

A realização da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida envolve uma grande quantidade de dados, o que torna inviável verificar todos os parâmetros envolvidos. Para otimizar as ações na fase de interpretação, foi realizada a análise de pontos críticos (*hotspots*), que consiste em revisar as informações da análise do inventário e da avaliação de impacto para

detectar os parâmetros que apresentam diferenças quantitativas significativas em relação aos demais (OLIVEIRA et al., 2021). Essa análise permite filtrar e direcionar as verificações subsequentes, concentrando-se nos parâmetros e escolhas que mais contribuem para os resultados obtidos. Sonnemann e Margni (2015), por seu turno, mencionam que a análise de pontos críticos (*hotspots*) é qualificada como uma estrutura metodológica que permite a rápida assimilação e análise de informações, incluindo estudos baseados no ciclo de vida. Esses autores mencionam que os resultados dessa análise proporcionam uma compreensão abrangente dos impactos, permitindo a priorização de recursos e ações, que realmente importam em virtude do perfil de impacto ambiental, social e de custeio. Uma característica comum dessa abordagem é a otimização da pesquisa e análise, apresentando informações e descobertas em formatos acessíveis, inclusive para públicos não técnicos, que muitas vezes são os principais tomadores de decisão em contextos de produção orgânica (SONNEMANN; MARGNI, 2015).

Sob as premissas supramencionadas serão realizadas análises de pontos críticos para cada uma das esferas do ciclo de vida, com vistas a identificar os principais contribuintes para os impactos potenciais ambientais, sociais e de custeios para proporcionar a elucidação de informações relevantes aos produtores e sugerir alternativas para contornar os impactos oriundos dos pontos críticos por meio da análise de sensibilidade.

4.2.6.2. Análise de sensibilidade

A sensibilidade de um modelo indica até que ponto a variação de um parâmetro de entrada ou de uma escolha leva à alteração do resultado do modelo. A análise de sensibilidade investiga como a incerteza na saída pode ser associada e distribuída entre as diferentes fontes de incerteza nas entradas do modelo, sendo utilizada para determinar quais variáveis de entrada mais influenciam o comportamento da saída (HAUSCHILD; ROSENBAUM; OLSEN, 2018). Existem basicamente dois grandes grupos de métodos para realizar a análise de sensibilidade: análises locais e globais. As análises locais focam em estudar o efeito que pequenas perturbações em torno de valores nominais das variáveis de entrada teriam sobre o resultado do modelo. Para superar as limitações dos métodos locais, a análise de sensibilidade global foi desenvolvida, considerando toda a faixa de variação das entradas. Os métodos de análise de sensibilidade global determinam quanto cada variável de entrada contribui para a variância do resultado, auxiliando na verificação e compreensão do modelo, simplificando-o e priorizando os fatores que exigem medições ou estimativas mais precisas para reduzir a variância da saída (OLIVEIRA et al., 2021). Nesse sentido, considerando os pressupostos mencionados para a

avaliação ambiental do ciclo de vida, foi considerada a análise de sensibilidade local, pois procurou-se identificar a entrada que mais contribui com os impactos ambientais, posteriormente estabelecendo cenários alternativos a entrada mais relevante para a contribuição com as mitigações dos impactos.

Embora a análise de sensibilidade no CCV seja bastante semelhante à da ACV-ambiental, existem diferenças. A principal delas relaciona-se ao fato de que, ao contrário dos impactos ambientais e emissões, os preços de insumos são mais voláteis devido aos mecanismos de oferta e demanda do mercado (RÖDGER; KJÆR; PAGOROPOULOS, 2018). Foram seguidas as premissas estruturadas para a sensibilidade na ACV-ambiental, mas considerando que custos são altamente sensíveis a custos fixos e variáveis (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013), além dos ciclos financeiros e sazonalidade da produção (BATALHA et al., 2021). Portanto, no CCV, as receitas são um amortizador relevante para o custeio da produção, e foram submetidas a análises de sensibilidade.

A análise de sensibilidade no tocante a avaliação social do ciclo de vida foi realizada pela análise de cenários, em consonância com o estudo de Visentin et al. (2022), a fim de identificar como os resultados são afetados por incertezas, o que proporcionou maior confiança na pontuação final. A análise por meio da definição de cenário social considerou os dados quanto a aplicação da legislação trabalhista brasileira de acordo com a metodologia proposta por Martins et al. (2017). Essa forma de análise buscou verificar como os dados são afetados pela concordância com as leis de trabalho, no qual, se mapeou os benefícios de possuir registro em carteira por parte dos trabalhadores e demais direitos laborais.

4.2.7. Soma teórica como integração da sustentabilidade do ciclo de vida

A integração das dimensões ambiental, de custeio e social em uma única abordagem analítica, proporcionando uma visão sistêmica dos impactos da produção ao longo de seu ciclo de vida foi realizada pela soma teórica (KLOEPFFER, 2008). Esta abordagem tem como base a soma das avaliações individuais dos impactos ambientais pela avaliação do ciclo de vida ambiental (ACV-ambiental), econômicos pelo custeio do ciclo de vida (CCV) e sociais pela avaliação social do ciclo de vida (ACV-social), elucidado na Figura 4. Em igual sentido, Savian, Da Penha Simon e Holden (2023), evidenciam que a aplicação prática da ASCV envolve a combinação estruturada das avaliações individuais de ACV-ambiental, CCV e ACV-social, considerando para cada abordagem suas normas próprias (ISO, 2006a, 2024) para identificar pontos críticos e oportunidades de melhoria no contexto específico da produção agrícola.

Larsen et al. (2022) reforçam que para alcançar integração é essencial aplicar ASCV através da soma teórica, enfatizando a importância do uso da integração das três dimensões como ferramenta para apoiar a transição para uma economia circular. Essa metodologia é representada pela Equação 2 (KLOEPFFER, 2008).

$$ASCV = ACV \text{ ambiental} + ACV \text{ social} + CCV \quad (\text{Equação 2})$$

A integração pela soma teórica apresenta vantagens decisivas na vinculação das diferentes dimensões de sustentabilidade. Curran (2012) ressalta que a integração multidimensional fornecida pela soma teórica permite decisões mais informadas e robustas, minimizando a possibilidade de negligenciar impactos significativos em qualquer uma das dimensões consideradas. A soma teórica na ASCV representa uma evolução importante no campo da sustentabilidade, oferecendo uma visão holística essencial para o processo decisório na produção agrícola (SAVIAN; DA PENHA SIMON; HOLDEN, 2023). Sendo possível evidenciar interações entre custeio, sociedade e meio ambiente, permitindo uma compreensão aprofundada e equilibrada da sustentabilidade, fundamental para uma efetiva transição para modelos produtivos resilientes e mais sustentáveis (MUTHU, 2021).

5. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da ASCV à produção orgânica de laranja, com base na integração das três dimensões: ambiental, social e custeio. Os resultados estão organizados em duas grandes seções: (I) a revisão sistemática de literatura, que permitiu mapear os principais avanços, lacunas e práticas associadas à ASCV na produção de laranja no cenário internacional; e (II) a aplicação prática da técnica de ASCV nos dois municípios supramencionados, com base nos dados primários coletados junto aos produtores, seguindo as diretrizes das normas ISO 14040, 14044 e 14075. A subsequente análise dos resultados envolveu a aplicação das metodologias específicas para cada uma das dimensões da sustentabilidade, respeitando suas particularidades e requisitos metodológicos. Por fim, a abordagem da soma teórica foi utilizada para evidenciar os resultados obtidos nas três dimensões, possibilitando uma visão holística do desempenho sustentável da produção orgânica de laranja nas regiões estudadas.

5.1. Revisão sistemática de literatura

Os resultados foram ramificados em aspectos gerais, onde se informa a estratégia de leitura e as quantidades resultantes dessa abordagem, detalhada no subitem triagem dos artigos. Em seguida é demonstrado as informações quanto ao local de realização das pesquisas, descrita no item ciclo de vida: o enfoque global; e, como último componente dessa vertente temos as revistas de publicação, na qual procurou-se relatar os principais *journals* utilizado pelos artigos analisados. Os dados dos artigos analisados podem ser acessados pelo APÊNDICE 2.

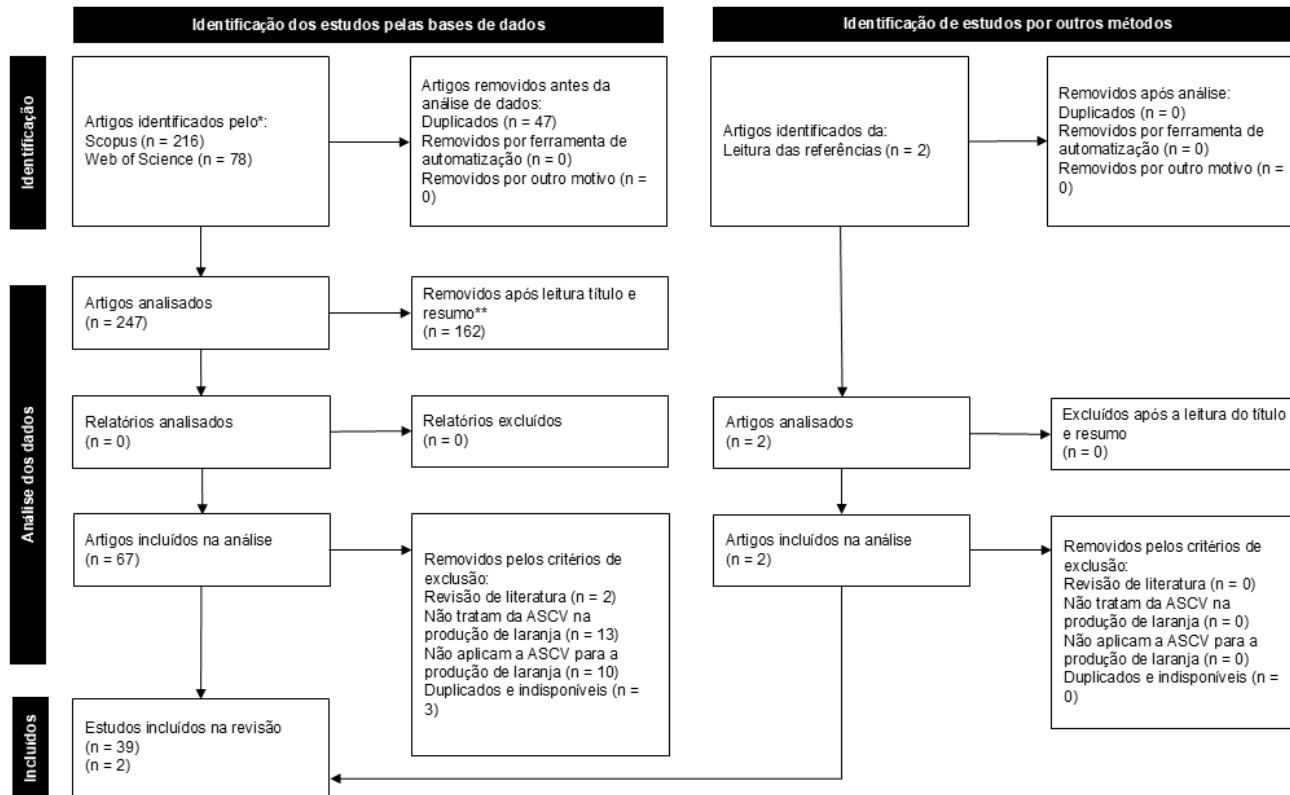
Por outro lado, temos a ramificação dos aspectos específicos do ciclo de vida, no qual foram analisados os dados oriundos da leitura completa com o apoio do *Iramuteq* a partir da esfera ambiental, de custeio e social visando compreender os pormenores dos estudos em relação a seus objetivos, limites do sistema, categorias de impacto e principais resultados.

5.1.1. Aspectos gerais

5.1.1.1. Triagem dos artigos

Aplicada a estratégia de triagem dos artigos, em um primeiro momento foi possível identificar quarenta e sete artigos duplicados e logo excluídos. Após a leitura do título e resumo, cinquenta e nove artigos foram selecionados para leitura completa, os outros cento e trinta e seis foram descartados. Concluída a leitura completa, mais vinte e um artigos foram deletados, e outros dois foram incluídos a partir das referências dos artigos lidos em sua completude. O portfólio final de artigos é constituído por quarenta e um estudos. A Figura 11 sintetiza a triagem.

Figura 11 - triagem dos artigos componentes da revisão bibliográfica sistemática



Fonte: adaptado Page et al. (2021).

5.1.1.2. Ciclo de vida: o enfoque global

A produção de laranja ocorre em todas as partes do planeta e representa 9% da produção global de frutas e vegetais (FAO, 2021). Nesse sentido, os resultados do presente tópico são analisados a partir dos países onde foram realizados os estudos. Constituindo-se por quatorze países, as pesquisas são executadas na América do Sul, composta pelos países: Argentina, Brasil, Colômbia e Uruguai. América do Norte, representada pelos Estados Unidos da América. América Central com o México. Europa, composta pela: Alemanha, Dinamarca, Espanha, França, e, Itália. África, nos países da África do Sul e Nigéria. E a Ásia elucidada pela Índia e Irã. A Figura 12 evidencia as informações.

Figura 12 - realização de avaliação do ciclo de vida da laranja pelo mundo



Fonte: elaborado pelo autor.

A Figura 12 apresenta ainda o número de pesquisas por país, a relação entre pesquisa por país se configura pela relevância da produção de laranja na localidade. Todas as informações referentes a produção são oriundas do boletim da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* denominado *Citrus Fruit: fresh and processed* (FAO, 2021b). A Europa é a região com maior número de estudos e responsável por 7,33% da produção global de laranja, totalizando dezoito estudos, dentro do continente europeu na Itália foram realizados nove dos quarenta e um estudos investigados, pois o referido local é o segundo maior processador de laranja do mundo, e sua produção é estimada em 2,8 mil toneladas. A Espanha, com produção

estimada em 6,0 mil toneladas, possui cinco estudos no tema. Alemanha, Dinamarca e França completam a lista dos países europeus, ambos com uma publicação, Alemanha e Dinamarca não tem produção significativa de laranja (FAO, 2024; KNUDSEN et al., 2011) e a totalidade das frutas disponíveis no países é oriunda de exportação; os franceses, por seu lado, produzem o equivalente a 52 toneladas.

A América do Sul possui dez estudos, sua produção representa 19,29% da produção global, ramificados entre o Brasil, com produção estimada em 19 mil toneladas e três estudos, o país é o maior processador de laranjas do mundo. A Colômbia possui a mesma quantidade de estudo que o país anterior, sua produção é estimada em 887 toneladas. O Uruguai possui dois estudos e produção de 242 toneladas (FAO, 2021b). E a Argentina com produção de 3,4 mil toneladas, completa a lista dos produtores sulamericanos, com dois estudo. O continente asiático possui sete estudos, sua produção representa 50,0% do cultivo de laranja, com a Índia detendo cinco pesquisas e produção quantificada em 13,3 mil toneladas. E o Irã com produção de 3,4 mil toneladas e dois estudos.

A América Central tem quatro estudos, a produção dessa região equivale a 6,73% da produção mundial, todos desenvolvidos no México, o país é um relevante produtor de laranja estimada em 8,4 mil toneladas. A América do Norte, por seu lado, tem a produção equivalente a 10,46% da produção global, possui 3 estudos realizados nos Estados Unidos da América, o referido país é responsável pela produção de 74,7 mil toneladas de laranja e o terceiro maior processador de laranja do planeta. A África, por sua vez, possui dois estudos, um para a África do Sul e outro para a Nigéria, o país sul-africano tem produção estimada em 2,7 mil toneladas, enquanto o outro tem estimativa de 1,7 mil toneladas.

Os três maiores processadores de laranja do mundo, constam com estudos relevantes dentro da abordagem do ciclo de vida, representando pouco menos de 50% dos estudos analisados. No país sul-americano, todos os estudos se concentram na abordagem ambiental do ciclo de vida (COLTRO et al., 2009; DA COSTA et al., 2022; KNUDSEN et al., 2011); o país norte-americano, por seu lado, possui um estudo com relação a abordagem de custeio do ciclo de vida (CHAKRAVARTY; WADE, 2023), outro relacionado a abordagem ambiental e social (MUÑOZ TORRES et al., 2022), e mais um com a abordagem ambiental do ciclo de vida (DWIVEDI; SPREEN; GOODRICH-SCHNEIDER, 2012); o país europeu possui três estudos com a abordagem ambiental do ciclo de vida (BECCALI et al., 2010; CUSENZA et al., 2021; NEGRO et al., 2017), três com a avaliação de custeio do ciclo de vida (MARTINEZ-HERNANDEZ et al., 2019; SGROI et al., 2015; TESTA et al., 2015), dois estudos com a

abordagem social do ciclo de vida (DE LUCA et al., 2015; IOFRIDA et al., 2019) e um com a abordagem de custeio e ambiental (PERGOLA et al., 2013).

Esses resultados refletem um processo mais abrangente dentro do desenvolvimento das abordagens do ciclo de vida, por sua ampla consolidação e estruturação a partir das necessidades dos países do norte global (CURRAN, 2012; GUINÉE, 2002; REUVENY; THOMPSON, 2008), temos, e.g., as categorias de impacto, métodos de caracterização, abordagens de avaliação do impacto do ciclo de vida, direcionadas exclusivamente para essas regiões (ESHUN; POTTING; LEEMANS, 2011). Nesse sentido, os resultados obtidos demonstram a maior complexidade dos estudos desenvolvidos no norte global, pois abrangem além da abordagem ambiental, a de custeio e a social, ao passo, que os estudos no sul global ainda se concentram nas abordagens ambientais, evidenciando a divergência de aplicação nas diferentes regiões do mundo. Reforçando a assertiva de Curran (2012) na qual os países em desenvolvimento e as economias emergentes até agora não conseguiram aproveitar o potencial da avaliação do ciclo de vida para o desenvolvimento sustentável devido à falta de *expertise* técnica e a disponibilidade limitada de bases de dados.

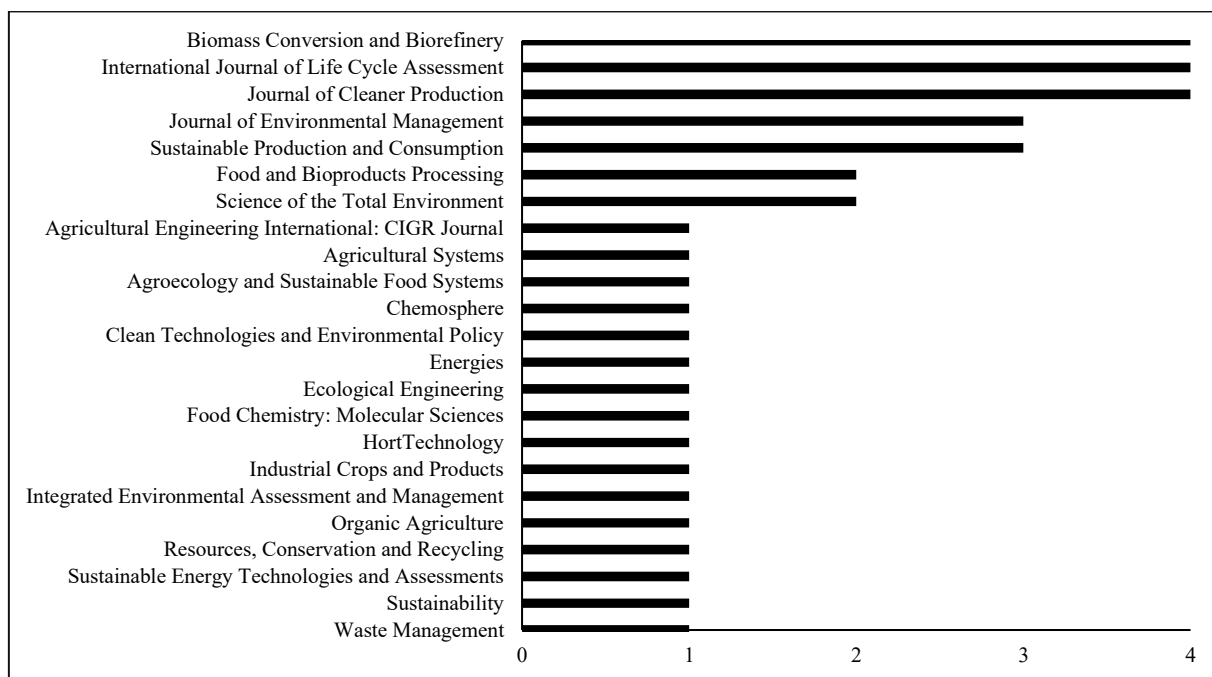
5.1.1.3. As revistas de publicação

O artigo submetido a uma revista garante o crivo da análise por pareceristas no momento de apreciação do estudo. O processo de avaliação por pares, realizada em *journals*, é um mecanismo construtivo que geralmente leva à produção de artigos de melhor qualidade (NASSI-CALÒ, 2019). Nesse sentido, continua a mesma autora, analisar os *journals* oriundos dos artigos que compõe o portfólio da presente revisão se mostra relevante para expor todas as revistas importantes dentro da abordagem da sustentabilidade do ciclo de vida, suas áreas de concentração, e a quais fins elas atendem, para elucidar a confiabilidade da comunicação científica.

A maioria dos artigos foi publicada na revista especializada em temas relacionados ao ciclo de vida, a *International Journal of Life Cycle Assessment*, com quatro dos estudos analisados. Com a mesma quantidade de artigos que a anterior, o *Journal of Cleaner Production* é um periódico com enfoque na produção mais limpa, que engloba as abordagens do ciclo de vida. Além disso, temos o periódico *Biomass Conversion and Biorefinery*, juntos esses periódicos representam 29,27% dos estudos analisados; resultado consoante com a pesquisa de Wafa et al. (2022), na qual as bases mais citadas na revisão realizada pelos autores foram *International Journal of Life Cycle Assessment* seguida da *Journal of Cleaner Production*,

evidenciando a relevância das duas bases para a divulgação científica de trabalhos envolvendo as abordagens do ciclo de vida. As revistas *Journal of Environmental Management* e *Sustainable Production and Consumption* possuem três artigos cada, juntas as revistas correspondem a 14,63% das publicações sobre o tema de pesquisa. Outros 9,75% estão publicados nas revistas *Food and Bioproducts Processing* e *Science of Total Environment*, com dois artigos para cada uma. O restante, aproximadamente 46,34%, está ramificado em 16 periódicos, com um estudo para cada periódico. O Gráfico 1 detalha as informações.

Gráfico 1 - quantidade de artigos por periódicos



Fonte: elaborado pelo autor.

Merece especial atenção os *journals* com maior número de artigos publicados em relação aos termos de busca, sendo o *Biomass Conversion and Biorefinery*, *International Journal of Life Cycle Assessment* e o *Journal of Cleaner Production*. O primeiro, é um periódico internacional voltado para a pesquisa e inovação na conversão de biomassa e na biorefinaria. O foco principal do periódico é explorar avanços tecnológicos e científicos relacionados ao uso sustentável de recursos biológicos para produção de energia, materiais e químicos, com ênfase na sustentabilidade do ciclo de vida (SPRINGER NATURE, 2025). O *International Journal of Life Cycle Assessment* é um periódico dedicado exclusivamente à avaliação do ciclo de vida e métodos estritamente vinculados a ela (CURRAN; FINKBEINER; SCHMUHL, 2019). A ferramenta ganhou relevância em virtude do seu notório reconhecimento para avaliar os encargos ecológicos e impactos ao longo das fases consecutivas e interligadas de um sistema de produto, desde a aquisição de matéria-prima ou geração a partir de recursos

naturais, passando pela produção e uso, até a disposição final. Se constituindo como um espaço para cientistas que desenvolvem avaliação do ciclo de vida e gestão do ciclo de vida, praticantes de avaliação do ciclo de vida e gestão do ciclo de vida; gerentes com enfoque nos aspectos ambientais de produtos; agências governamentais de meio ambiente responsáveis pela qualidade do produto; sociedades científicas e industriais envolvidas no desenvolvimento da avaliação do ciclo de vida, e instituições e entidades ecológicas (SPRINGER NATURE, 2024). Seu fator de impacto para o ano de 2022 foi de 4,8 (SPRINGER NATURE, 2024) e índice H 123 (SCOPUS, 2022), tornando o *journal* uma referência para informações da abordagens do ciclo de vida em revisões de literatura (CIMINI, 2021; LAUESEN, 2019; WAFA et al., 2022).

Enquanto o *Journal of Cleaner Production*, é uma revista internacional e transdisciplinar focada em pesquisa e prática de produção mais limpa, meio ambiente e sustentabilidade, visando contribuir para que as sociedades se tornem mais sustentáveis (ELSEVIER, 2024). Qualificado como um *mega journal*, caracterizado por um grande volume, escopo amplo, revisão por pares e de acesso aberto baseado em taxas de processamento de artigo, cujo objetivo é à publicação anual de centenas de artigos (LI et al., 2023).

Os mesmos autores mencionam ainda que é amplamente reconhecido que os *mega journal* estão intimamente relacionados a um tamanho considerável de revista científica, o que implica que um grande periódico apresenta uma magnitude maior do que um *journal* médio em um campo específico. A emergência dos *mega journal* atraiu a atenção da comunidade acadêmica e recebeu muitos comentários sobre seu impacto na comunicação científica, que se refere ao sistema pelo qual pesquisas e outros escritos acadêmicos são criados, avaliados quanto à qualidade, disseminados para a comunidade acadêmica e preservados para uso futuro (FINLAY; TSOU; SUGIMOTO, 2015). Tornando o *Journal of Cleaner Production* uma das revistas científicas com maior fator de impacto com valor de 11,1 (ELSEVIER, 2024) e índice H de 268 (SCOPUS, 2022); valores duas vezes maiores do que o *journal* exclusivamente focado na abordagem do ciclo de vida.

5.1.2. Aspectos específicos

5.1.2.1. Abordagem ambiental do ciclo de vida

A abordagem ambiental do ciclo de vida é a mais utilizada nos estudos analisados, com 25 artigos realizando a referida avaliação, correspondendo a 60,97% dos estudos componentes do portfólio. A grande quantidade de estudos, elucidam Curran (2012) e Guinée (2002), se

constitui no fato da maturidade da abordagem, que desde a sua primeira aplicação em meados de 1969 vem sendo incrementada com a criação de normas (ABNT, 2014), base de dados e metodologias (WEIDEMA et al., 2013), além de instruções cada vez mais detalhadas sobre as metodologias de avaliação do inventário do ciclo de vida (HANNOUF et al., 2023; OLIVEIRA et al., 2021). Esse *status* adquirido pela abordagem ambiental, faz dela a porta de entrada para as abordagens do ciclo de vida, concomitante a isso, as pesquisas vinculadas aos aspectos ambientais tem recebido especial atenção em virtude, tanto das consequências da propagação e manutenção do estilo de vida pautado, e.g., em uma dieta com produtos industrializados, a qual há impactos nocivos para a saúde humana (DA CRUZ et al., 2024) quanto pela necessidade de repensar o sistema vigente de produção e consumo da sociedade considerando os aspectos ambientais (ORTIZ-PRZYCHODZKA et al., 2023).

Os estudos vinculados a produção de laranja já refletem esse cenário de mudança de perspectiva, ao considerar uma produção mais amigável ao meio ambiente, com pesquisas visando a avaliação do impacto ambiental do cultivo de laranjas no México, incluindo produtos derivados destas (BONALES-REVUELTA et al., 2022), até o desenvolvimento de inventários de ciclo de vida para culturas específicas na Espanha, destacando laranjas e tomates (BECCALI et al., 2010). Outro aspecto importante desses estudos é a avaliação dos impactos ambientais em diferentes estágios da cadeia produtiva, de um lado, a pesquisa de Tyszler, Kramer e Blonk (2014) se concentra na variabilidade das etapas pós-colheita e seu impacto na pegada de carbono das laranjas Valência, enquanto a pesquisa de Mariana, Alzate e Ariel (2021) retrata os impactos ambientais e custos econômicos de diferentes estratégias de gestão de resíduos de casca de laranja. Ademais, um aspecto que merece destaque nas pesquisas analisadas é o desenvolvimento de uma base de dados sobre as emissões de gases de efeito estufa na produção e consumo de suco de laranja na Flórida, visando melhorar o desempenho ambiental do Estado (DWIVEDI; SPREEN; GOODRICH-SCHNEIDER, 2012).

A transição para práticas mais sustentáveis foi um aspecto relevante nos dados, evidenciado pela apresentação do primeiro perfil ambiental de produtos baseados em limão na Argentina na pesquisa de Machin Ferrero, Wheeler e Mele (2022), que explora ainda, a transição de indústrias tradicionais para biorrefinarias. E na identificação de pontos críticos ambientais na cadeia de produtos de suco de laranja orgânico de pequenas fazendas no Brasil (KNUDSEN et al., 2011). Adicionalmente, o estudo de Sinisterra-Solís et al. (2023) medem os impactos ambientais da produção de toranja orgânica e convencional na Espanha, utilizando água do mar dessalinizada para irrigação.

Outro foco significativo é a avaliação de métodos específicos e suas implicações ambientais, nesse sentido, o estudo de Costa et al. (2022) incluem a análise dos impactos da toxicidade relativa de métodos de controle de pragas na saúde humana e em ecossistemas aquáticos, e a investigação de Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023) sobre diferentes indicadores de impacto ambiental durante a modificação da fibra dietética solúvel em processos em escala laboratorial. Incrementalmente, alguns estudos buscam avaliar o ciclo de vida de produções de laranja no Irã e no Uruguai, destacando a importância de considerar os aspectos temporais e espaciais nas avaliações de ciclo de vida de culturas perenes (ALISHAH et al., 2019; CABOT et al., 2023).

Para trazer mais evidências da relevância dos aspectos ambientais nas pesquisas envolvendo a produção de laranja, analisando-se o conteúdo de cada estudo, foi realizada a análise de similaridade. A Figura 13 elucida a similaridade das palavras, o conjunto "produção" está diretamente ligado aos clusters "processo", "fertilização", "método" e "recurso", com o conjunto laranja se destacando em relação aos demais. O conjunto azul-ciano aborda a produção de laranja e seus desdobramentos, como o suco de laranja, associando-o ao alto consumo de água para irrigação, representado pelo conjunto roxo. O conjunto azul destaca categorias de impacto, com foco particular nas contribuições para a eutrofização, enquanto o conjunto vermelho, ligado ao anterior, enfatiza os termos "orgânico" e "convencional".

The diagram illustrates the relationships between various terms related to food systems, categorized into six color-coded clusters:

- Production (Orange):** Includes terms like 'production', 'agricultural', 'farm', 'alternative', 'end', 'show', 'evaluate', 'highlight', 'improve', 'lemon', 'scenario', 'emission', 'identify', 'biogas', 'total', 'management', 'stage', 'significant', 'account', 'conductor', 'assessment', 'variability', 'fertilizer', 'pesticide', 'input', 'application', 'include', 'compare', 'scenario', 'emission', 'identify', 'biogas', 'total', 'management', 'stage', 'significant', 'account', 'conductor', 'assessment', 'variability'.
- Process (Green):** Includes terms like 'process', 'analysis', 'biomass', 'significantly', 'pedin', 'bioenergy', 'energy', 'performance', 'source', 'renewable', 'influence', 'option', 'complexity'.
- Input (Pink):** Includes terms like 'input', 'application', 'include', 'pesticide', 'fertilizer', 'pesticide', 'fertilizer', 'pesticide', 'fertilizer'.
- Output (Yellow):** Includes terms like 'output', 'functional', 'mass', 'product', 'allocation', 'economic', 'unit', 'dietary', 'fiber', 'method', 'life_cycle_assessment'.
- Consumption (Purple):** Includes terms like 'consumption', 'year', 'plant', 'dose', 'high', 'water', 'irrigation', 'category', 'generate', 'value', 'osmosis', 'reverse', 'conventional', 'organic', 'ecotoxicity', 'change', 'climate', 'land', 'eutrophication', 'contribution', 'human', 'freshwater', 'toxicity'.
- Environmental (Blue):** Includes terms like 'environmental', 'depletion', 'potential', 'global', 'warm', 'fuel', 'fossil', 'essential', 'oil', 'ethanol', 'reduce', 'avoid', 'show', 'alternative', 'end', 'evaluate', 'highlight', 'improve', 'lemon', 'scenario', 'emission', 'identify', 'biogas', 'total', 'management', 'stage', 'significant', 'account', 'conductor', 'assessment', 'variability', 'fertilizer', 'pesticide', 'input', 'application', 'include', 'compare', 'scenario', 'emission', 'identify', 'biogas', 'total', 'management', 'stage', 'significant', 'account', 'conductor', 'assessment', 'variability'.

De maneira geral, o tema central dos estudos foca nos pontos críticos ambientais da produção de laranja, utilizando técnicas de avaliação do ciclo de vida com ênfase na pegada de carbono, uso de água e consumo de energia, especialmente no transporte e seu impacto no potencial de aquecimento global, no uso de fertilizantes e pesticidas e seus custos ambientais, além de inovações como biorrefinarias para valorização de resíduos. Tópicos como "transporte", "irrigação" e "biorrefinaria" podem conectar múltiplos conjuntos, destacando sua ampla relevância.

88

de resíduos" destacam práticas que reduzem os impactos ambientais, como reciclagem de água ou o uso de fertilizantes orgânicos. Tópicos relacionados a "alocação de massa" e "alocação econômica" mostram a influência das escolhas metodológicas nos resultados da avaliação do ciclo de vida. Tópicos como "micronização", "ultrassonicação" e "extrusão" demonstram interesse em métodos de processamento sustentáveis. Tópicos pouco explorados, como "transporte", poderiam se beneficiar de pesquisas mais aprofundadas sobre fontes de energia alternativas. Tópicos que conectam múltiplos conjuntos, como "biorrefinaria" com "gestão de resíduos" e "pegada de carbono", sugerem áreas onde inovações colaborativas geram resultados significativos. Para conjuntos como "fertilizantes" e "irrigação", formuladores de políticas podem ser orientados a práticas eficientes no uso de recursos. Tópicos relacionados a biorrefinarias e à integração de energia renovável destacam estratégias práticas para reduzir os impactos ambientais na produção de laranja.

Aprofundando as informações obtidas e considerando os impactos ambientais da produção de laranja, os estudos enfatizam o papel crítico da irrigação na contribuição para a pegada hídrica da citricultura. A irrigação representou 50% do consumo de água durante o cultivo em Beccali et al. (2010) e até 86% em Cabot et al. (2023). Para enfrentar essas condições, sugere-se ampliar a aplicação de tecnologias avançadas de irrigação, como a irrigação de precisão, bem como avaliar a viabilidade de políticas específicas para a reutilização de água em cada região. O transporte contribui significativamente para a pegada de carbono, com caminhões refrigerados utilizados para exportação respondendo por 59,4% da pegada de carbono no estudo de Tyszler, Kramer e Blonk (2014). De forma semelhante, Knudsen et al. (2011) destaca a contribuição de 57% do transporte para o uso de energia não renovável na produção de suco de laranja orgânico. Avaliações do ciclo de vida focadas na integração de biocombustíveis ou transporte movido a hidrogênio poderiam aumentar a sustentabilidade (IÑIGO MARTÍNEZ et al., 2024).

O grupo de estudos sobre biorrefinarias de baixa complexidade destaca a produção de óleos essenciais e biogás, mantendo baixos impactos ambientais. A produção de metano a partir de resíduos de casca de laranja pode fornecer energia para o processo de destilação (MARIANA; CAMILO; ARIEL, 2021). A valorização dos resíduos de laranja melhora a eficiência energética, reduz a dependência de aterros sanitários e enfrenta desafios de gestão de resíduos. Cenários como a substituição do biogás pelo carvão (ORTIZ et al., 2020) alcançam uma redução de 40% na pegada de carbono. A transição dos métodos tradicionais de descarte de resíduos para biorrefinarias pode impulsionar estruturas de economia circular, promovendo

a sustentabilidade. Os autores mencionados sugerem que a introdução de políticas para incentivar investimentos em biorrefinarias de baixa complexidade e a exploração de modelos de escalabilidade energeticamente eficientes para uma adoção mais ampla são formas de ampliar esse sistema produtivo. Por outro lado, biorrefinarias de alta complexidade, embora mais intensivas em recursos, oferecem um portfólio de produtos mais amplo, incluindo pectina e biocombustíveis. No entanto, esses sistemas apresentam maiores impactos ambientais, especialmente sob métodos de alocação por massa (CABOT; LADO; SANJUÁN, 2023; MARIANA; CAMILO; ARIEL, 2021). Enquanto os métodos de alocação por massa exacerbam as pegadas ambientais, a alocação econômica direciona o foco para produtos de alto valor, compensando os impactos. Vale mencionar que os métodos de alocação — por massa vs. econômica — influenciam significativamente os resultados da avaliação do ciclo de vida. Por exemplo, Mariana, Alzate e Ariel (2021) observa que a alocação por massa aumenta os impactos sobre as mudanças climáticas em biorrefinarias, enquanto a alocação econômica reduz esses impactos para produtos de alto valor, como a pectina. A discussão entre formuladores de políticas e pesquisadores deve priorizar o equilíbrio entre a diversificação de produtos e a eficiência no uso de energia e recursos. Além disso, devem ser desenvolvidas estratégias para intensificação de processos e integração de energias renováveis nas biorrefinarias para mitigar os altos encargos operacionais.

O uso de fertilizantes contribui para o aquecimento global, eutrofização e ecotoxicidade terrestre. Beccali et al. (2010) atribuem 50% do consumo de água durante o cultivo à irrigação, impulsionado em grande parte pela aplicação de fertilizantes. De forma semelhante, fertilizantes à base de nitrogênio dominam os impactos relacionados à eutrofização e às mudanças climáticas (COLTRO et al., 2009; JURASKE; SANJUÁN, 2011). Reduzir a dependência de fertilizantes e fazer a transição para alternativas orgânicas ou baseadas em esterco pode mitigar significativamente esses impactos. Além disso, devem ser priorizados marcos regulatórios que promovam fertilizantes ecológicos e práticas de melhoria da saúde do solo. Nesse contexto, é essencial incentivar o manejo integrado de nutrientes e a pesquisa para o desenvolvimento de biofertilizantes como alternativas aos insumos sintéticos. De forma semelhante, a agricultura orgânica apresenta pegadas de carbono reduzidas em comparação com os sistemas convencionais, já que a produção de suco de laranja orgânico mostra menor uso de energia e potencial de aquecimento global, com reduções de 34,1% (TYSZLER; KRAMER; BLONK, 2014) e 40% (CABOT; LADO; SANJUÁN, 2023), respectivamente. As práticas orgânicas mitigam a dependência de pesticidas e fertilizantes, embora exijam maior uso de

terras (KNUDSEN et al., 2011). A agricultura orgânica deve ser ampliada por meio de subsídios de apoio e programas educacionais para garantir viabilidade econômica e ampla adoção, com incentivos do setor público e participação de setor privado.

5.1.2.2. Abordagem de custeio do ciclo de vida

A abordagem econômica do ciclo de vida foi encontrada em apenas quatro estudos, representando 10,53% dos artigos analisados. Desenvolvida em meados dos anos 1930, estabeleceu o pensamento do ciclo de vida, a abordagem inclui custos de operação e manutenção de uma produção (CIROTH et al., 2008), os mesmos autores continuam, a avaliação de todos os custos associados ao ciclo de vida de um produto que são diretamente cobertos pelos atores envolvidos no ciclo de vida do produto, com a inclusão de externalidades que se espera serem internalizadas para a tomada de decisão.

Com as assertivas de Ciroti et al. (2008) em foco, proporcionando uma visão abrangente do custo do ciclo de vida ambiental, o estudo de Falcone et al., (2020) avalia as conexões entre métodos agrícolas, características da área de produção, requisitos energéticos e os resultados financeiros de cenários da produção de laranja, permitindo que o estudo seja um instrumento para identificar abordagens para refinar processos com foco na redução da dependência de fontes de energia não renováveis, mantendo a viabilidade financeira das fazendas, evidenciando que a produção amigável ambientalmente a natureza permite ganhos financeiros.

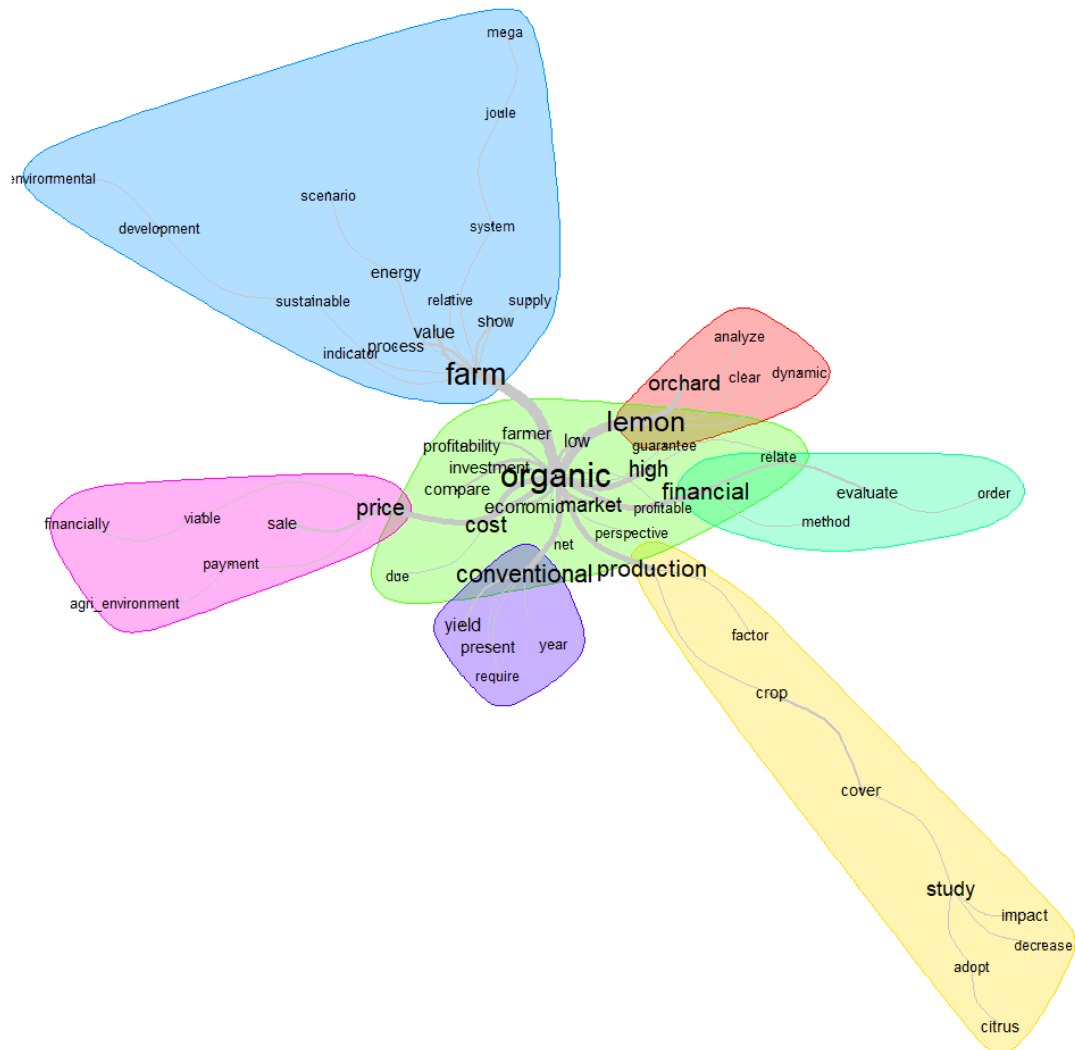
Em igual sentido, Sgroi et al. (2015), analisam a sustentabilidade econômica e financeira do cultivo de limão orgânico para avaliar se em um contexto econômico tão dinâmico e complexo, o investimento em limão orgânico pode ser conveniente, comparando com o limão convencional a fim de avaliar melhor os resultados financeiros (TESTA et al., 2015). Ademais, Chakravarty e Wade (2023) pesquisam se a adoção de culturas de cobertura é uma opção economicamente viável para produtores citrícolas. Com o auxílio da análise de similaridade, para maior profundidade e acurácia nas informações investigadas, foram verificados os resultados a que cada estudo culminou. Nesse sentido, a Figura 14 evidencia esses dados.

A técnica consiste em identificar e agrupar palavras em conjuntos, usando cores diferentes, que aparecem mais de três vezes no *corpus* textual e que possuem relações mútuas. Com o conjunto de palavras em verde, é identificado o termo orgânico (*organic*) relacionado a financeiro (*financial*), rentabilidade (*profitability*) e agricultor (*farmer*), passível de inferir que esse conjunto de termos nutre forte relação, uma vez que o conceito de orgânico é tida nos estudos ora analisados como forma de revelar a viabilidade econômico-financeira ao agricultor

para gerar renda e contribuição com a mitigação dos impactos ambientais da produção citrícola frente a convencional, essa última constatada pelo conjunto em roxo em contato com o conjunto verde. Nesse sentido, os estudos de Sgroi et al. (2015) e Testa et al. (2015) relatam que indicadores econômicos e financeiros mostram uma clara vantagem para a produção orgânica, e.g., o valor bruto da arrecadação da produção da fazenda orgânica é de 6.138,28 euros por hectare, superando os 648,98 euros por hectare da fazenda convencional, mesmo que esta última alcance uma produtividade maior.

Os mesmos autores constataam ainda que o custo de produção de uma fazenda orgânica é menor do que de uma fazenda convencional, em termos de custo de produção relativo à unidade do produto. A produção orgânica utiliza mais recursos renováveis e menos energia e materiais comprados, alcançando uma produção mais sustentável. Os custos de mão de obra em uma fazenda orgânica representam 42,5% do custo total, enquanto em uma fazenda convencional, representam 43,7%. A diferença se deve à maior produtividade do pomar convencional, que está diretamente relacionada ao tempo necessário para a colheita (SGROI et al., 2015; TESTA et al., 2015).

Figura 14 - similitude dos resultados da abordagem de custeio



Fonte: elaborado pelo autor.

Outra constatação que a Figura 14 elucida é em relação ao termo fazenda (*farm*) pertencente ao conjunto azul, englobando, dentre outros, a palavra energia (*energy*). A pesquisa de Falcone et al. (2020), traça duas linhas, a primeira pautada no ponto de vista energético, evidencia que a produção orgânica tem desempenho melhor do que os sistemas de agricultura convencional ou integrada, esse último é uma regulamentação local da região de análise que limita o uso de determinados defensivos agrícolas, nesse sentido cenários de agricultura orgânica exigiram uma média de 72.739 mega joule, enquanto os cenários de agricultura convencional e integrado exigiram 95.848 mega joule e 94.060 mega joule, respectivamente. A segunda linha, é a econômica, considerando o lucro líquido como indicador, descobriu-se que as fazendas orgânicas são mais rentáveis, isso indica que, além de mais eficientes energeticamente, os sistemas de agricultura orgânica oferecem maior rentabilidade financeira.

Merece destaque na análise de similitude o termo plantação (*orchard*), no conjunto em vermelho na Figura 14, em contato com o conjunto orgânico (*organic*), o qual, no estudo de Chakravarty e Wade (2023) calculou dados-chaves, como preços de equilíbrio para diferentes cenários de rendimento e qualidade, considerando vários fatores como custos de produção, preços de mercado e os benefícios potenciais das culturas de cobertura, constatando a variabilidade nos rendimentos e na qualidade dos frutos cítricos em diferentes estações, impactando os preços de equilíbrio e, portanto, a rentabilidade da adoção de culturas de cobertura. Esta variabilidade é crucial para os produtores de cítricos ao tomar decisões sobre a incorporação de novas práticas agrícolas, como culturas de cobertura, tornando a adoção da prática um aspecto de difícil assimilação pelos produtores, pois não garante maior rentabilidade.

Os estudos, quanto a abordagem de custeio do ciclo de vida, reforçam a perspectiva de que a agricultura orgânica citrícola além de ambientalmente mais sustentável, é uma opção economicamente viável aos agricultores.

5.1.2.3. Abordagem social do ciclo de vida

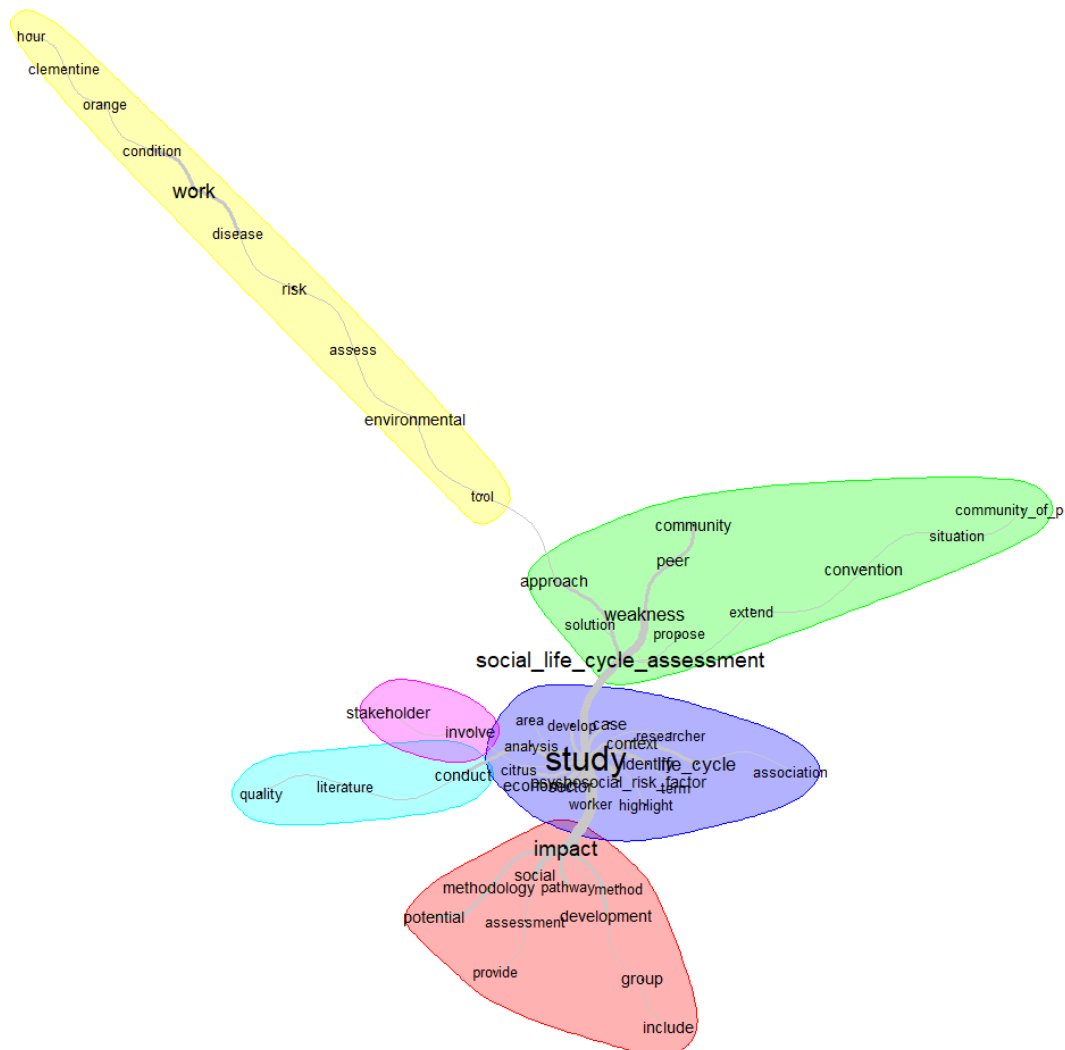
A abordagem social do ciclo de vida é a menos aplicada nas pesquisas analisadas, com três artigos realizando a referida abordagem, correspondendo a 7,89% dos estudos componentes do portfólio. Seguramente, a menor ocorrência dessa abordagem está pautada no tempo de maturidade da sua prática, a abordagem social começou a ser discutida na década de 1990 (MESA ALVAREZ; LIGTHART, 2021), e seu aprofundamento ocorreu em 2009, ano em que houve a publicação do *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products* pela *United Nations Environment Programme* (UNEP) e a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) que apresenta a base para elementos-chaves a serem considerados e orientações para uma avaliação do ciclo de vida social nas fases de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação (ANDREWS et al., 2009), ampliando o número de estudos no tema (MESA ALVAREZ; LIGTHART, 2021) e posteriormente houve mais uma publicação em prol do fornecimento de uma base teórico-metodológica para as categorias de impacto na abordagem social do ciclo de vida, intitulada, *Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment* (S-LCA) (TRAVERSO et al., 2021). A partir dos diferentes esforços em prol da padronização da avaliação social do ciclo de vida, em 2024 foi promulgada a norma ISO 14.075 (2024) que estabelece as diretrizes para aplicação da ACV-social e estabelece as metodologias inerentes a sua execução. Nesse sentido, os estudos aqui analisados foram publicações entre 2015 a 2021, refletindo o esforço em prol do

aprofundamento e disseminação da utilização da abordagem social do ciclo de vida, mas não consideram a referida norma para a avaliação social.

A pesquisa de Macombe, Loeillet e Gillet (2018) explora as fraquezas inerentes a avaliação social do ciclo de vida, realizando uma análise crítica de estudos de caso para identificar onde a metodologia pode ser insuficiente ou apresentar lacunas, visando entender as limitações existentes e pensar em estratégias para superá-las. Propondo como forma de mitigação das fraquezas a aplicação da teoria das convenções, que sugere que as pessoas podem adotar convenções para determinar o mais adequado aquela realidade. Iofrida et al. (2019) procuram expandir o conhecimento sobre o desenvolvimento das metodologias para as categorias de impacto, nesse sentido, um conjunto de métodos dedicados à análise e avaliação dos impactos ligados a abordagem do ciclo de vida de produtos e serviços, desenvolvendo e implementando integralmente uma forma de impacto para a avaliação social do ciclo de vida, permitindo a avaliação dos impactos sociais sobre os trabalhadores por meio de fatores de risco psicossociais.

De Luca et al. (2015), por seu lado, propõe uma abordagem que combina a avaliação social do ciclo de vida com metodologias derivadas de pesquisas qualitativas e operacionais, visando enriquecer a estrutura da avaliação social do ciclo de vida incorporando ferramentas participativas e de multicritérios. Os mesmos autores evidenciam que essa integração considera, além dos aspectos sociais, indicadores ambientais e econômicos, oferecendo uma visão mais holística dos impactos. Relatando um significativo esforço para criar uma aplicação da abordagem social do ciclo de vida mais integrada e abrangente, que vai além dos métodos tradicionais de avaliação ao incluir uma gama mais ampla de fatores e perspectivas das partes interessadas. Com a contribuição da análise de similitude, para maior profundidade e acurácia nas informações investigadas, foram verificados os resultados a que cada estudo culminou. A Figura 15 demonstra as informações.

Figura 15 - análise de similitude para a abordagem social



Fonte: elaborado pelo autor.

As palavras que aparecem frequentemente nos *corpus* textual, mais de três vezes, e que possuem relações mútuas, são evidenciadas, nesse sentido, se constata o termo trabalhador (*worker*) pertencente ao conjunto de termos vinculados a estudo (*study*), correlacionado ainda com os termos fator de risco psicossocial (*psychosocial risk factor*), evidenciando que o método de impacto do fator de risco psicossocial, quantifica as relações causa-efeito entre o ciclo de vida da produção citrícola e seus impactos psicossociais potenciais nos trabalhadores afetados, onde o estudo enfatiza a utilidade dessa metodologia tanto para atores privados quanto públicos na tomada de decisões, ressaltando a importância de integrá-la em uma avaliação mais ampla da sustentabilidade do ciclo de vida (IOFRIDA et al., 2019).

Em relação aos termos avaliação social do ciclo de vida (*social life cycle assessment*), comunidade (*community*) e fraqueza (*weakness*), a Figura 15, relaciona em uma de suas

ramificações os vínculos entre os termos, quando Macombe, Loeillet e Gillet (2018) propõe a formação de uma comunidade alargada de pares para estabelecer novas convenções adaptadas a cada situação, eles procuram evidenciar as fraquezas da avaliação social do ciclo de vida, além de discutir a relevância do papel de consultores e pesquisadores na condução desses estudos e na interpretação dos dados e da complexidade das relações sociais, destacando que a criação de uma comunidade de pares não garante por si só a resolução de problemas.

Uma terceira ramificação está vinculada ao termo impacto (*impact*), que se desdobra nos termos metodologia (*methodology*), avaliação (*assessment*) e social (*social*) demonstrando a combinação avaliação social do ciclo de vida e outras metodologias, com ferramentas derivadas de pesquisas qualitativas e operacionais na pesquisa de De Luca et al. (2015), a qual, é iniciada com uma revisão da literatura sobre bem-estar e qualidade de vida para estabelecer uma base para identificar áreas de proteção na avaliação social do ciclo de vida, focando especialmente no setor agrícola da produção de laranja. Os autores desenvolvem um fator de risco psicossocial de impacto social para o contexto do estudo e analisa a eficiência econômica usando valor presente líquido e taxa interna de retorno. Constatando a complexidade de avaliar os impactos sociais no setor agrícola e destaca os desafios, particularmente em termos de coleta de dados e integração de diferentes categorias de impacto.

Existe uma necessidade de adaptar e evoluir continuamente as metodologias de avaliação do ciclo de vida social para abordar adequadamente a complexidade e a dinâmica dos impactos sociais no ciclo de vida de produtos e serviços. Sustentada por vários aspectos discutidos nos estudos, conforme elucida Macombe, Loeillet e Gillet (2018), ao reconhecer e endereçar as fraquezas metodológicas da abordagem, sugerindo a necessidade de métodos mais flexíveis e adaptáveis. Integrar abordagens multidisciplinares, ressaltam Iofrida et al. (2019), na qual, incorporando múltiplas perspectivas e disciplinas contribui para alcançar uma compreensão mais completa dos impactos sociais. Ademais, focar na aplicabilidade prática e relevância contextual, direciona para a necessidade de territorialização das ferramentas de avaliação social do ciclo de vida para torná-las mais relevantes e aplicáveis a distintas realidades. De forma mais ampla, buscar o equilíbrio entre objetividade e subjetividade para garantir que os impactos sociais sejam avaliados de maneira holística e significativa, envolvendo as principais partes interessadas como forma de garantir que todos os impactos sociais sejam considerados através de métodos participativos e inclusivos, por fim, evidenciar a responsabilidade dos pesquisadores e consultores na condução dessas avaliações, enfatizando

a necessidade de discernimento profissional e a capacidade de aprofundamento nas questões inerentes a um território objeto de análise.

Portanto, a avaliação social do ciclo de vida deve ser vista como um campo em evolução constante, que requer adaptação, inovação e uma abordagem multidisciplinar para tratar eficazmente a complexidade dos impactos sociais associados ao ciclo de vida de produtos e serviços. Isso implica na necessidade de flexibilidade metodológica, integração de múltiplas perspectivas e um compromisso contínuo com a inclusão de partes interessadas e a relevância contextual.

5.1.2.4. Vinculação entre as abordagens do ciclo de vida

Os estudos que vinculam as abordagens do ciclo de vida, seja pelo relacionamento entre a avaliação ambiental e o custeio do ciclo de vida ou o ambiental com o social do ciclo de vida, completam as investigações. Esses estudos correspondem a dez artigos, representando 24,39% do portfólio. A vinculação entre as abordagens do ciclo de vida se constitui pela maior complexidade dos estudos, a fim de evidenciar os diferentes impactos sociais e econômicos vinculados ao ambiental. Nesse sentido, seis estudos avaliam conjuntamente aspectos de custeios e ambientais, ao passo que, quatro informações ambientais e sociais.

Nos debruçando sobre as pesquisas que englobam a abordagem ambiental mais econômico, nos deparamos com a pesquisa de Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023b) cujo objetivo é avaliar e comparar cinco técnicas de produção de concentração de fibra dietética solúvel, no entanto, existem limitações significativas, como a exclusão das emissões associadas ao cultivo de laranjas, falta de dados sobre emissões resultantes do descascamento das laranjas, e a não inclusão do tratamento de águas residuais. O estudo considera as cascas de laranja como resíduos de baixo valor e não aborda o impacto da etapa de agricultura, assumindo que as cascas são subprodutos.

Navarro-Pineda et al. (2022) e Ogunlade et al. (2020), tem seus objetivos ramificados em estimar os potenciais impactos ambientais, o consumo de energia e água na geração de calor a partir de cascas de laranja e palha de cana-de-açúcar e determinar o total de energia de entrada e saída utilizada na produção de laranjas doces em um conjunto de fazendas, examinando a alocação de energia durante práticas de manejo, avaliando a eficiência do consumo de energia de entrada e realizando uma análise econômica da produção cítrica, respectivamente.

Martinez-Hernandez et al. (2019), apresenta a primeira avaliação tecnológica, econômica e ambiental da valorização energética de resíduos de casca de laranja para a

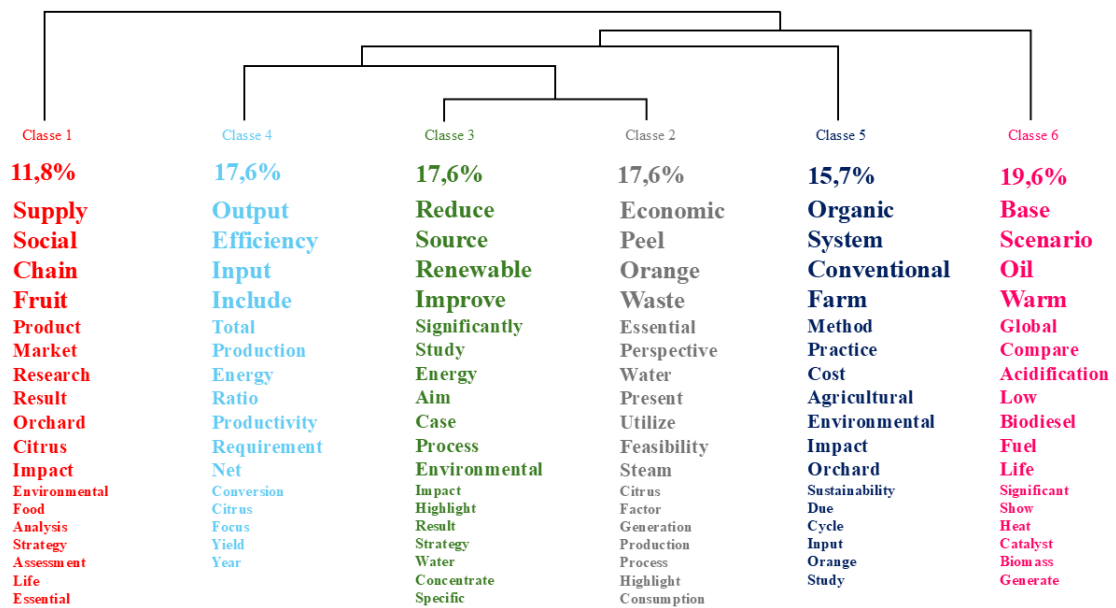
produção de vapor em uma planta de processamento de cítricos, propondo estratégias que integram o nexo energia-água. Rajendran et al. (2022) procuram determinar as consequências econômicas e ambientais associadas à criação de biodiesel sustentável a partir de resíduos de laranja. Pergola et al. (2013), por sua vez, avalia a sustentabilidade das práticas de agricultura orgânica em relação aos métodos convencionais, realizando uma análise de energia, impactos ambientais e custos de produção abrangendo todo o ciclo de produção de pomares de limão e laranja. E, Ortiz-Sanchez et al. (2021) investigam a produção de óleo essencial, pectina e biogás como alternativas para valorizar resíduos de casca de laranja, sob perspectivas experimentais, técnicas e econômicas.

Esses estudos coletivamente destacam a importância de abordagens sustentáveis e eficientes no manejo e valorização de resíduos de cítricos. Eles exploram diferentes técnicas e processos, desde a produção de biogás e biodiesel até o aproveitamento de cascas de laranja para a produção de energia, sempre com foco em melhorar a eficiência energética, minimizar impactos ambientais e garantir a viabilidade econômica.

Abrangendo os estudos que aplicam a abordagem ambiental e econômica do ciclo de vida, temos a pesquisa de Muñoz Torres et al. (2022) cuja análise detalha os pontos críticos ambientais e sociais da laranja ao longo de toda a sua cadeia de suprimentos de três distintos países produtores, a saber: Estados Unidos, Espanha e África do Sul. O foco principal é entender a origem do produto e sua proximidade com o mercado, aspectos relevantes para investigar as implicações da sustentabilidade e, conseqüentemente, a importância do comprimento da cadeia de suprimentos de frutas cítricas em relação ao seu impacto social e ambiental.

Elaborou-se a classificação hierárquica de descendentes, representada na Figura 16, que permite aferir as relações e as inferências dos estudos levantados ora analisados. Percebe-se, pela avaliação da Figura relativa à hierarquia de descendentes, que houve a criação de seis classes de termos: em vermelho os termos relacionados a cadeia de suprimentos, mais evidente pelos termos suprimentos (*supply*), cadeia (*chain*) e mercado (*market*), conclusões mistas são relatadas pelo estudo de Muñoz Torres et al. (2022) sobre a eficácia das cadeias curtas de alimentos na obtenção de sistemas alimentares mais sustentáveis, destacando a necessidade de análise detalhada dos produtos em cada etapa da cadeia de suprimentos.

Figura 16 - classificação hierárquica de descendentes para os estudos híbridos



Fonte: elaborado pelo autor.

A segunda classe, em cinza, cujo termos se relacionam com a valorização de resíduos, ao evidenciar economia (*economic*), bagaço (*peel*), laranja (*orange*), resíduo (*waste*), essencial (*essential*), na qual, a pesquisa de Ortiz-Sanchez et al. (2021) conclui que a casca de laranja pode se tornar uma matéria-prima capaz de aumentar a receita da cadeia de produção de cítricos, principalmente ao originar o óleo essencial como um fator econômico chave na biorrefinaria de resíduos de casca de laranja. Em verde, é elucidada a terceira classe, relativa a melhor utilização dos recursos, evidenciada pelos termos redução (*reduce*), fonte (*source*) e renovável (*renewable*), os quais pelo estudo de Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023c) direcionam para a utilização de fontes de energia renováveis, especialmente a energia eólica, reduziu drasticamente o impacto ambiental da produção de concentrado de fibra dietética solúvel a partir de cascas de laranja. Os mesmos autores em uma análise técnico-econômica mostram que a extrusão foi o método mais lucrativo, enquanto a ultrassonificação não era economicamente viável para a produção da fibra solúvel.

A quarta classe, em azul ciano, relata o uso eficiente dos recursos energético para a produção de laranja, pelos termos eficiência (*efficiency*), produção (*production*), citrus (*citrus*) e energia (*energy*), nesse sentido Ogunlade et al. (2020), determina a totalidade da energia de entrada e saída utilizada na produção de laranjas em várias fazendas, culminando em uma indicação de mudança metodológica em direção a fontes de energia renováveis para melhorar os padrões de uso de energia na produção cítrica, para melhorar a eficiência energética, e aumentar a sustentabilidade e a rentabilidade econômica da produção de laranja.

Em azul marinho, a classe 5 trata da comparação entre os sistemas convencionais e orgânicos de produção de laranja, pelos termos orgânico (*organic*), convencional (*conventional*), prática (*practice*) e método (*method*) pelos estudos de Navarro-Pineda et al., (2022) e Pergola et al. (2013) é possível compreender a complexidade de avaliar a sustentabilidade na produção cítrica, abordando tanto métodos inovadores de reaproveitamento de resíduos quanto a comparação entre sistemas de agricultura orgânica e convencional. Eles demonstram que, embora os sistemas orgânicos possam oferecer benefícios ambientais significativos, eles também enfrentam desafios econômicos, especialmente em relação aos custos de mão de obra. Por outro lado, o uso de biomassa cítrica para geração de calor representa uma abordagem promissora para melhorar a eficiência energética e reduzir o impacto ambiental, mesmo com desafios de eficiência devido à necessidade de secagem da biomassa. Essas descobertas são fundamentais para formuladores de políticas e produtores que buscam soluções sustentáveis para a produção cítrica.

A classe 6, em rosa, aborda os impactos ambientais relatados nas pesquisas que circundam a produção de laranja, evidenciado pelos termos aquecimento (*warm*), acidificação (*acidification*) e cenários (*scenario*), os estudos de Pergola et al. (2013), Rajendran et al. (2022), Martinez-Hernandez et al. (2019) e Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023b) fazem um paralelo dos termos com suas pesquisas ao destacarem a importância de práticas e tecnologias sustentáveis na indústria cítrica, desde a fase de produção até o processamento final. Eles ressaltam que a adoção de práticas orgânicas e o uso de resíduos como recursos energéticos melhoram a eficiência e reduzem os impactos ambientais, oferecendo viabilidade econômica em diferentes cenários de produção.

As aplicações híbridas da abordagem do ciclo de vida ilustram a complexidade e a variedade de abordagens necessárias para otimizar a produção cítrica e o aproveitamento de resíduos, destacando a necessidade de integrar considerações ambientais, energéticas e econômicas para promover a sustentabilidade em toda a cadeia de valor cítrica.

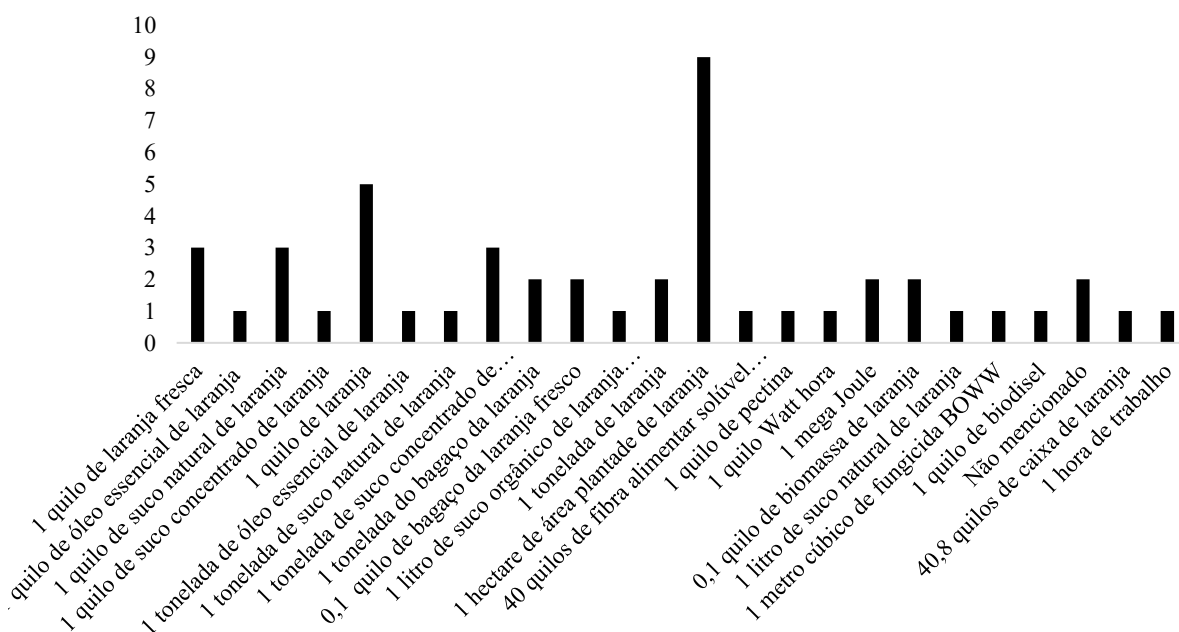
5.1.2.5. Unidade funcional, limites do sistema e categorias de impacto

A presente seção procura evidenciar e analisar a unidade funcional mais recorrente, o limite do sistema utilizado nos estudos e as categorias de impacto mais mencionadas a fim de fornecer um norte robusto para ser aplicado na presente dissertação, bem como, realizar inferências sobre fatores que podem contribuir para a decisão de escolha de cada um desses aspectos nas pesquisas ora analisadas e seus desdobramentos.

5.1.2.5.1. Unidade funcional

A unidade funcional estabelece a quantificação das funções do produto. O principal objetivo da unidade funcional é fornecer uma referência à qual os insumos e saídas são relacionados. Essa referência é essencial para assegurar que os resultados da avaliação do ciclo de vida possam ser comparados (CURRAN, 2012). Em igual sentido, Oliveira et al. (2021) asseveram que a unidade funcional quantifica e qualifica a função definida para o sistema do produto, tornando necessário conhecer os aspectos técnicos do produto. Dos quarenta e um estudos analisados, trinta e seis propuseram uma unidade funcional para realizar a avaliação do ciclo de vida, em conformidade com a norma ISO 14.040 e as assertivas de Curran (2012) e Oliveira et al. (2021), exceto dois que não mencionam qual unidade funcional foi utilizada. O Gráfico 2 sintetiza todas as unidades funcionais mencionadas.

Gráfico 2 - unidades funcionais mencionadas pelos estudos



Fonte: elaborado pelo autor.

As unidades funcionais englobam laranja fresca, óleo essencial de laranja, suco natural de laranja, suco concentrado de laranja, laranja (*in natura*), bagaço da laranja, bagaço da laranja fresco, suco orgânico de laranja importado, hectare de área plantada de laranja, fibra alimentar solúvel concentrada, pectina, quilo Watts hora, mega Joule, biomassa de laranja, fungicida BOWW, biodiesel, não mencionado, caixa de laranja e hora de trabalho. Qualificadas pelas unidades de medida em metros, quilos, toneladas e hora.

Os estudos que utilizam apenas uma unidade funcional, correspondem a 72,50%, contabilizando vinte e nove estudos. Outros 5,00%, ou seja, dois estudos, não mencionam qual

unidade funcional utilizam. E, o restante, nove estudos corresponde a 22,50%, selecionam duas ou mais unidades funcionais. Evidenciando que a maioria dos estudos vão em caminho contrário as recomendações de Van der Werf, Knudsen e Cederberg (2020), que consiste em considerar unidades funcionais baseadas tanto em produto quanto em área. Os estudos, continuam os autores, que se limitam a uma unidade funcional representam os sistemas agrícolas de maneira limitada, sem considerar a multifuncionalidade da agricultura e sua provisão de uma ampla gama de serviços ecossistêmicos, em especial, quando se considera a produção orgânica, que é configurada, majoritariamente, por sistemas multifuncionais (BOSCHIERO et al., 2023). No entanto, é preciso considerar o momento de publicação dos artigos contrários a recomendação, uma vez, que a norma ISO 14.040 não menciona nenhuma recomendação para uma ou mais unidades funcionais, então os estudos atendem as previsões da norma. Por outro lado, os estudos de Beccali et al. (2010), Pergola et al. (2013), Knudsen et al., (2011), Alishah et al. (2019) já trazem consigo a conformidade as recomendações de Van der Werf, Knudsen e Cederberg (2020), mesmo anteriores a publicação dos referidos autores, potencialmente em virtude de mais clara vinculação dos dados com os impactos da produção de laranja. Cabot et al. (2023), Ben Abdallah et al. (2023) e Pergola et al. (2013) mencionam como referência para a escolha das unidades funcionais as considerações elucidada pelos autores Van der Werf, Knudsen e Cederberg (2020).

Ademais, merece destaque as unidades funcionais 1 hectare de área plantada de laranja, 1 quilos de laranja (*in natura*) e 1 quilo de laranja fresca e de suco de laranja natural. Por serem as que aparecem com maior frequência, nove vezes para o primeiro caso, cinco para o segundo, e, três vezes para os dois últimos casos. As escolhas da unidade funcional, são pautadas na representação das entradas e saídas do produto analisado (CURRAN, 2012; OLIVEIRA et al., 2021), mas para além disso consideram recomendações da literatura, como no estudo de Sgroi et al. (2015); a disponibilidade para conversão dos dados a partir da unidade funcional, evidenciado por Falcone et al. (2020) onde a unidade funcional consiste em adaptar-se bem a uma avaliação comparativa em nível territorial, que é uma escala coerente com os processos de tomada de decisão tanto de agricultores quanto de formuladores de políticas, tanto Sgroi et al. (2015) quanto Falcone et al. (2020) utilizam um hectare como unidade funcional.

Os estudos que usam 1 quilo de laranja (*in natura*) como unidade funcional não evidenciam as informações que contribuíram para a escolha de tal unidade. Por outro lado, para laranja fresca Bonales-Revuelta et al. (2022) atribui a escolha a revisão de literatura. Mariana, Alzate e Ariel (2021) para a escolha da unidade funcional suco de laranja natural, mencionam

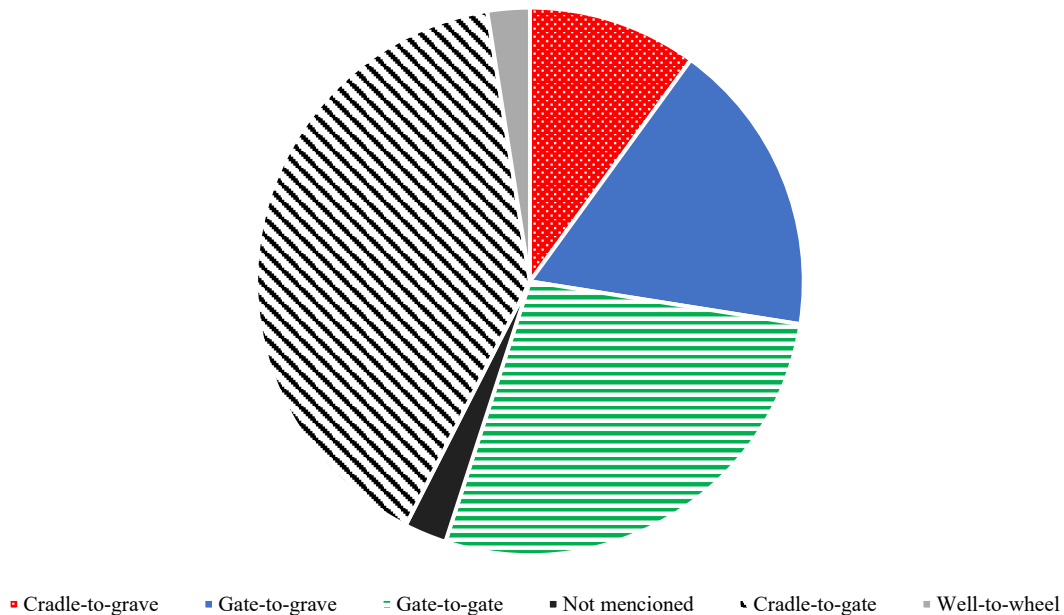
que a seleção foi feita considerando os resultados do limite do sistema e o objetivo da avaliação do ciclo de vida.

5.1.2.5.2. Limites do sistema

A identificação dos limites do sistema mais utilizadas contribui com a compreensão da abrangência a que os estudos se propõem, bem como, a quais resultados ele chegará, uma vez que quanto maior é a extensão do sistema, mais detalhado será os impactos observados (CURRAN, 2012; GUINÉE, 2002). Ademais, os limites do sistema devem ser definidos em termos das etapas do ciclo de vida a serem incluídas na análise, os limites geográficos e temporais da análise, e os fluxos e categorias de impacto a serem incluídos. Entender como os limites do sistema e os objetivos se vinculam será a forma de análise dessa subseção. A qualificação é mostrada no Gráfico 3. As abordagens da avaliação do ciclo de vida se ramificam em (tradução livre): berço ao túmulo (*cradle-to-grave*) que contemplam todas as etapas do ciclo de vida; berço ao berço (*cradle-to-cradle*) que inclui a recuperação dos resíduos usando reciclagem, remanufatura; berço ao portão da fazenda (*cradle-to-gate*) considera desde a extração até a entrega do produto para a distribuição; do portão ao portão da fazenda (*gate-to-gate*) considera só as etapas de produção; e, do portão da fazenda ao túmulo (*gate-to-grave*) etapas de distribuição, uso e fim de vida (CURRAN, 2012; OLIVEIRA et al., 2021)

A abordagem que engloba do berço ao túmulo (*cradle-to-grave*) representa 4 artigos, ou 10,00%, pela quantidade de informações necessárias, os estudos possuem diferentes fins, nesse sentido, procura-se analisar os pontos críticos ambientais e sociais associados à cadeia de suprimentos de frutas cítricas, enfocando particularmente na origem do produto e sua proximidade com o mercado, esta análise é fundamental para entender as implicações de sustentabilidade da cadeia de suprimentos e, por consequência, a relevância do comprimento dessa cadeia em termos de impacto social e ambiental (MUÑOZ TORRES et al., 2022). Além disso, se investiga estratégias gerenciais, como decisões de venda ou compra, e seu potencial influenciador sobre a sustentabilidade social e ambiental, este esforço é parte de um processo mais amplo para definir estratégias de mercado que conectem o campo à mesa de maneira sustentável (NAVARRO-PINEDA et al., 2022). Adicionalmente, o estudo de Martinez-Hernandez et al. (2019), explora a valorização energética de resíduos de cascas de laranja e palha de cana-de-açúcar, estimando os potenciais impactos ambientais, bem como o consumo de energia e água envolvidos na geração de calor necessário para a produção de suco concentrado.

Gráfico 3 - quantificação das abordagens do ciclo de vida por estudo



Fonte: elaborado pelo autor.

A abordagem do portão ao túmulo (*gate-to-grave*) aparece com 7 artigos, representando 17,50% e é a terceira abordagem mais utilizada pelos estudos. O estudo de Tyszler, Kramer e Blonk (2014) destacam o papel significativo do transporte nas cadeias de suprimentos de produtos vegetais e buscam aprimorar a avaliação da pegada de carbono de alimentos, indo mais a fundo na variabilidade nas etapas pós-colheita e seu impacto nas laranjas valencianas. Dwivedi, Spreen e Goodrich-Schneider (2012) visam desenvolver uma linha de base das emissões de gases de efeito estufa associadas à produção e consumo do suco de laranja da Flórida, fornecendo informações cruciais para melhorar o desempenho ambiental da indústria de suco de laranja do estado. Negro et al. (2017) quantificam os impactos ambientais e custos econômicos relacionados a diferentes estratégias de gestão de resíduos de casca de laranja, oferecendo recomendações para o manejo otimizado desses resíduos. Em seu estudo, García-Cruz et al. (2022) buscam determinar os impactos ambientais da produção do fungicida BOWW, identificando áreas de oportunidade para melhorias no processo de escalonamento. Teigiserova et al. (2022) realizam um estudo de avaliação do ciclo de vida para medir os impactos ambientais associados às cadeias de valor da bioeconomia baseadas em resíduos de casca de laranja. Ortiz-Sanchez et al. (2021) avaliam a produção de óleo essencial, pectina e biogás como alternativas para valorizar os resíduos de casca de laranja sob perspectivas experimentais, técnicas e econômicas. Chakravarty e Wade (2023) analisam se a adoção de culturas de cobertura é uma opção economicamente viável para os produtores de citros.

Um estudo não cita a abordagem utilizada, representando 2,50% do total, uma vez que o mesmo se constitui como avaliação social do ciclo de vida, não existe nenhuma normativa sobre como deve-se executar tal estudo (ANDREWS et al., 2009; TRAVERSO et al., 2021), apenas recomendações da literatura. Nesse sentido, objetivando compreender as fraquezas inerentes à avaliação do ciclo de vida social, incluindo uma discussão das potenciais estratégias para contrapor essas fraquezas, com vistas a propor a aplicação da Teoria das Convenções, que sugere que as pessoas podem adotar convenções para determinar o que se considerar ou não em uma avaliação do ciclo de vida social (MACOMBE; LOEILLET; GILLET, 2018). E outro estudo utiliza o limite do sistema classificado como *well-to-wheel* combinado *well-to-pump*, corresponde a 2,50% do total, utilizado em operação de veículos com motor de combustão interna e para biodiesel baseado em resíduos alimentares, no qual Rajendran *et al.* (2022) procuram determinar as consequências econômicas e ambientais associadas à criação de biodiesel sustentável a partir de resíduos alimentares da casca da laranja.

A abordagem berço ao portão da fazenda (*cradle-to-gate*), possui 16 estudos, correspondendo a 40,00%, o que faz dessa abordagem a mais utilizada. Seus estudos objetivam avaliar o impacto ambiental da cadeia produtiva de cítricos, abrangendo desde a cultura de laranjas no México (BONALES-REVUELTA *et al.*, 2022) até o desenvolvimento de produtos derivados de limões na Argentina (MACHIN FERRERO; WHEELER; MELE, 2022), incluindo também a produção de laranja mandarinas no Uruguai (CABOT et al., 2023) e o cultivo de laranja *grapefruits* na Espanha (BEN ABDALLAH et al., 2023). As pesquisas oferecem uma visão detalhada sobre os métodos de cultivo e a escala de produção dos produtores colombianos de laranja, apresentando um perfil ambiental da produção de laranja no país e explorando as implicações ambientais da transformação de cítricos e da gestão de resíduos de casca de laranja por meio de biorrefinarias (MARIANA; ALZATE; ARIEL, 2021). São identificados os pontos críticos ambientais na cadeia produtiva do suco de laranja orgânico no Brasil (KNUDSEN et al., 2011) e avaliados os impactos ambientais na produção orgânica e convencional de *grapefruit*, que utiliza água dessalinizada para irrigação na Espanha (BEN ABDALLAH et al., 2023).

Ainda no tópico da abordagem do berço ao portão da fazenda, as pesquisas, de modo geral, abordam a produção de mandarina no Uruguai, analisando as questões ambientais chave na etapa de cultivo e propondo melhorias (CABOT; LADO; SANJUÁN, 2023). Outro foco é a avaliação dos impactos ambientais associados à extração de óleo essencial e pectina da casca de laranja, visando aprimorar seu desempenho ambiental (DA COSTA et al., 2022). O estudo

de Cusenza et al. (2021) investiga a produção de biochar através da pirólise lenta de resíduos de biomassa, avaliando métodos mais sustentáveis de produção e o impacto do transporte da biomassa. Por fim, as pesquisas de Iofrida et al. (2019) e De Luca et al. (2015) propõe uma nova abordagem que combina a avaliação social do ciclo de vida com ferramentas de pesquisa qualitativa e operacional, integrando indicadores ambientais e econômicos para uma análise mais completa dos impactos sociais, especialmente em relação aos riscos psicossociais para os trabalhadores.

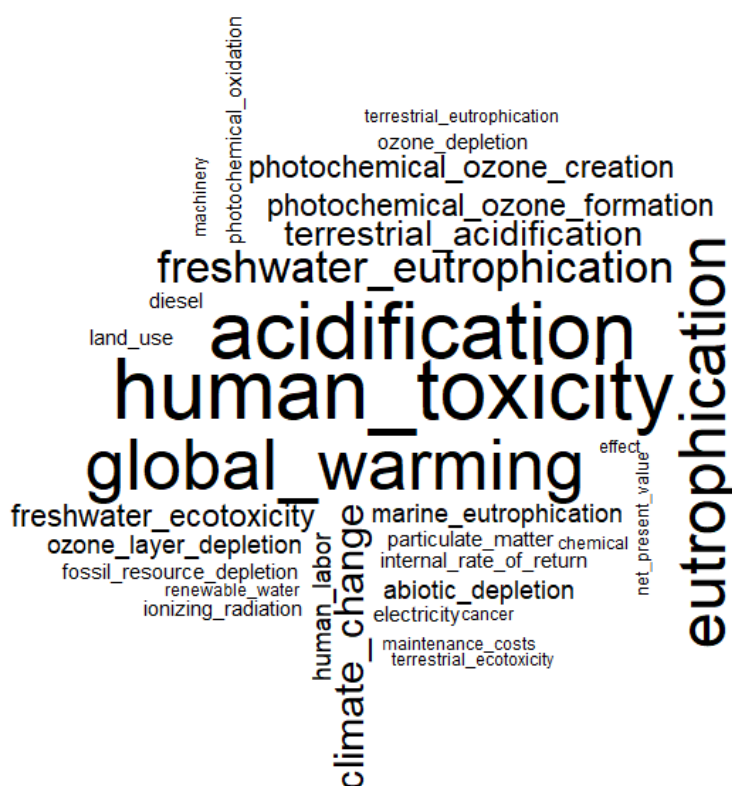
Do portão ao portão (*gate-to-gate*) aparece com 11 artigos, representando 27,50% dos estudos e a segunda abordagem mais utilizada pelas pesquisas. Os estudos, de modo geral, focalizam na avaliação dos impactos ambientais associados à produção agrícola, particularmente no cultivo de laranjas e tomates, bem como na concentração de fibras dietéticas solúveis (NEGRO et al., 2017). Os objetivos variam desde o desenvolvimento de inventários do ciclo de vida para culturas espanholas (SINISTERRA-SOLÍS et al., 2023), avaliando impactos ambientais médios da cultura de laranja, até a análise dos efeitos ambientais de diferentes métodos de concentração de fibras dietéticas solúveis em escala piloto e laboratorial (KHANPIT; TAJANE; MANDAVGANE, 2023c; KHANPIT; TAJANE; MANDAVGANE, 2023b). Outros estudos incluídos abordam a utilização de energia na produção de laranjas doces na Nigéria (OGUNLADE et al., 2020), as conexões entre métodos agrícolas, requisitos energéticos e resultados financeiros na produção de clementinas com indicação geográfica protegida na Calábria (FALCONE et al., 2020), e a avaliação dos impactos da toxicidade de métodos de controle de pragas na saúde humana e em ecossistemas aquáticos de água doce (JURASKE; SANJUÁN, 2011). Em conjunto, essas pesquisas visam contribuir para uma produção mais sustentável e eficiente do ponto de vista ambiental, identificando indicadores de impacto ambiental, otimizando o uso de energias renováveis, e melhorando a gestão de insumos e resíduos na agricultura.

5.1.2.5.3. Principais categorias de impacto

A norma ISO 14.040 estabelece alguns aspectos como mandatórios, ou seja, devem ser incluídos em uma avaliação do ciclo de vida, nesse sentido, a categoria de impacto se constitui como um desses aspectos (ABNT, 2014b). O primeiro passo no âmbito de uma análise de impacto é a seleção de categorias de impacto em conexão com a definição do objetivo e escopo do estudo (CURRAN, 2012). A mesma autora menciona ainda que múltiplos caminhos de impacto originários do inventário do ciclo de vida ligam emissões e extrações a indicadores de

categoria de impacto, na prática, um indicador de categoria é o resultado de um modelo simplificado de uma realidade muito complexa, fornecendo uma aproximação do estado de qualidade do ambiente afetado. E serão analisadas a partir da abordagem ambiental, econômica e social do ciclo de vida. As categorias de impacto mais relevantes são evidenciadas a partir da nuvem de palavras, conforme a Figura 17. Foram extraídos somente as menções nos artigos analisados das categorias de impacto, criando-se um *corpus* textual posteriormente aplicado ao software Iramuteq. Iniciando pela abordagem ambiental, seguida da econômica e por fim pela social.

Figura 17 - nuvem de palavras para as categorias de impacto analisadas



Fonte: elaborado pelo autor.

5.1.2.5.3.1. Abordagem ambiental do ciclo de vida: acidificação, aquecimento global, eutrofização e toxicidade humana

O tamanho da palavra evidenciado na Figura 17 indica que ela foi a mais recorrente, desse modo, toxicidade humana (*human toxicity*) é a mais mencionada, 17 vezes; seguida por acidificação (*acidification*) com 16 menções; em terceiro lugar, aquecimento global (*global warming*), 14 vezes; e, eutrofização (*eutrophication*) citada 13 vezes, constituindo assim o grupo de termos acima de 10 menções.

Vinculando os resultados dos estudos que incluem a categoria de impacto toxicidade humana, é observado que os agroquímicos utilizados na produção de laranja, especialmente os fertilizantes à base de nitrogênio e enxofre, são apontados como causadores de contaminação das águas subterrâneas com nitratos e fosfatos, contribuindo para a toxicidade humana através da liberação de cromo, zinco e cobre no ambiente, assinalam Mariana, Alzate e Ariel (2021). Martinez-Hernandez et al. (2019), por seu lado, discutem os impactos ambientais do uso de cascas de laranja como biocombustível para geração de vapor, mencionando que essa estratégia para geração de energia reduz significativamente os impactos para a toxicidade humana. Em estudo realizado por García-Cruz et al. (2022), é analisado os impactos ambientais associados à produção de fungicidas para a produção de laranja, onde a etapa de extração dos componentes ativos é identificada como contribuinte significativo para o impacto ambiental total, representando cerca de 53%.

O estudo de Juraske e Sanjuán (2011) merece especial atenção, por trabalhar com apenas duas categorias de impacto, toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce. Os autores mencionam que os acaricidas apresentaram os maiores impactos em toxicidade humana entre os tipos analisados, para a produção de 1 quilo de laranja, os fungicidas pós-colheita contribuíram com mais de 95% do total dos impactos em toxicidade humana, para mitigar esse cenário é mencionado que métodos de produção orgânica é a abordagem menos tóxica para o controle de pragas, representando uma alternativa para reduzir os riscos associados ao uso de pesticidas. E, o estudo de Cabot, Lado e Sanjuán (2023), na mesma linha dos supracitados, evidencia que a produção de pesticidas foi responsável por 50% da toxicidade humana relacionada ao câncer e 63% da toxicidade humana não relacionada ao câncer, onde pesticidas à base de cobre tiveram os maiores impactos, ademais, substâncias químicas específicas como óxido cúprico, acetamiprid, pyraclostrobin e abamectin tiveram maiores contribuições para a referida categoria de impacto.

Sublinhando a necessidade de repensar as práticas agrícolas utilizadas na produção de laranja, considerando tanto a saúde ambiental quanto a humana. A transição para métodos de produção mais sustentáveis, como a agricultura orgânica e o reaproveitamento de resíduos como biocombustíveis, surge como estratégias fundamentais para mitigar os impactos negativos identificados.

A acidificação é uma das categorias de impacto do estudo de Machin Ferrero, Wheeler e Mele (2022), o qual evidencia que usar o biogás para a produção de eletricidade pode ser uma estratégia benéfica para reduzir o impacto da acidificação associado aos resíduos de uma

produção cítrica. Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023a) mencionam que a extrusão afeta significativamente a concentração de fibras dietéticas solúveis, em um processo comparativo entre ultrassonificação e extrusão para a obtenção dessas fibras, na qual a primeira tem impactos ambientais aproximadamente 2,6 vezes maiores que a última, indicando que a extrusão é um método ambientalmente mais amigável em comparação com a ultrassonificação para a conversão de fibras dietéticas solúveis, considerando a acidificação. O estudo de Knudsen et al. (2011), por sua vez, destaca a contribuição significativa do transporte para o impacto ambiental geral do suco de laranja, nesse sentido, o potencial total de acidificação e eutrofização de 1 litro de suco de laranja importado para a Dinamarca foi de 3 gramas equivalente de dióxido de enxofre e 9 gramas equivalente de íons nitrato, respectivamente. As maiores contribuições vieram da etapa de transporte e da etapa agrícola, com o transporte sendo o maior contribuinte com 57%, seguida pelo processamento com 29% para os impactos ambientais.

O estudo de Rajendran et al. (2022) evidencia os impactos ambientais da produção de biodiesel a partir de resíduos alimentares, utilizando um catalisador de biocarvão, embora o biodiesel baseado em resíduos alimentares tenha apresentado um impacto positivo no que diz respeito ao potencial de aquecimento global, com uma redução de -3,967 quilos equivalentes de dióxido de carbono, ele mostrou um desempenho pior em relação à acidificação terrestre, o que pode afetar negativamente a saúde do solo, a biodiversidade e a capacidade dos ecossistemas terrestres de fornecer serviços essenciais. Alishah et al. (2019) em sua pesquisa analisam o impacto ambiental do cultivo de laranjas, especificamente em relação às emissões em diferentes estágios de crescimento de um pomar dessa cultura, evidenciando que as emissões diretas do campo são devidas à aplicação de insumos agrícolas, especialmente fertilizante de nitrogênio utilizado para o crescimento das árvores do ano 1 ao ano 7, e quando aplicado descontroladamente exacerba a acidificação. Em igual sentido, na pesquisa de Pergola et al. (2013) a acidificação do ar é mencionada como uma área em que o cultivo convencional de laranjas apresentou maiores impactos ambientais em comparação com o sistema de produção orgânica, as práticas de cultivo convencionais, devido ao uso de fertilizantes sintéticos e a gestão intensiva de culturas, resultam em maiores emissões de substâncias que contribuem para a acidificação do ar. Enfatizando que a agricultura orgânica oferece uma abordagem mais sustentável que reduz o impacto ambiental.

A categoria de impacto aquecimento global é evidenciado por Beccali et al. (2010) em seu estudo, mencionando que estratégias como o uso de água reciclada e a substituição do

transporte rodoviário pelo ferroviário podem levar a economias significativas de energia e, consequentemente, a uma redução no potencial de aquecimento global dos produtos cítricos. Dwivedi, Spreen e Goodrich-Schneider (2012), por seu lado, relatam que a gestão do pomar de laranja ao longo de 30 anos contribui significativamente para o aquecimento global, representando cerca de 52% e 56% do impacto total sob os cenários com e sem replantio, respectivamente. Os mesmos autores continuam ainda, uso de fertilizantes em pomares de laranja tem uma contribuição significativa para o impacto no aquecimento global da produção de suco de laranja, nesse sentido, práticas de manejo sustentável, como replantio, redução no uso de fertilizantes, melhorias na eficiência de conversão, e o uso de energia renovável, podem contribuir para a redução do impacto no aquecimento global associado à produção de suco de laranja.

Negro et al. (2017) aponta que a gestão de resíduos de casca de laranja através de digestão anaeróbica e co-digestão com outros materiais orgânicos pode oferecer benefícios em termos de redução do potencial de aquecimento global e esgotamento de recursos, enquanto enfrenta desafios em termos de eutrofização e viabilidade econômica. A pesquisa de Cusenza et al. (2021) analisa os impactos ambientais do processo de pirólise, especialmente focado na produção de biochar a partir de diferentes tipos de biomassa, incluindo cascas de laranja, constatando que o biochar derivado da produção cítrica apresenta impactos ambientais menores em comparação com o biochar de podas de oliveiras, com uma diferença média de cerca de 16%. Isso indica que a escolha da biomassa é crucial para minimizar os impactos ambientais associados à produção de biochar.

O estudo de Ben Abdallah et al. (2023) investiga o impacto ambiental da produção orgânica e convencional, com um foco particular na eutrofização, o sistema orgânico apresentou uma pegada ambiental menor em comparação com o sistema convencional, com uma redução média de impacto em todas as categorias de cerca de 9%. Esta diferença é atribuída à produtividade 10% menor no sistema orgânico, apesar de usar o mesmo cultivar e densidade de plantio que o sistema convencional. As etapas com as maiores contribuições foram a irrigação e o plantio, com ênfase nos fertilizantes. A gestão de recursos hídricos é outro aspecto relevante, pois o uso de osmose reversa para a redução de boro teve impactos consideráveis em ambos os sistemas de produção, com até 56% de contribuição, devido principalmente às altas exigências de eletricidade do processo de osmose reversa. O cenário ambientalmente menos degradante é o que combinou a produção orgânica com resinas de troca iônica para a retirada de boro da água dessalinizada, as resinas de troca iônica tiveram uma pegada ambiental significativamente

menor do que a osmose reversa em todas as categorias, com o tratamento de água dessalinizada sendo a fase mais impactante em ambas as tecnologias.

5.1.2.5.3.2. Abordagem de custeio do ciclo de vida: taxa interna de retorno, custos de manutenção, valor presente líquido

Os termos relacionados as categorias de impactos inerentes abordagem econômica do ciclo de vida estão em menor destaque na Figura 17, pois a frequência de menção é baixa, com menos de 5 menções, se ramificando entre taxa interna de retorno (*internal rate of return*) com 4 menções, seguido por custos de manutenção (*maintenance costs*) e valor presente líquido (*net present value*), ambas com 3 citações.

O estudo de Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023b) analisa a taxa interna de retorno no contexto da análise tecnoeconômica da produção de concentrado de fibra dietética solúvel a partir do resíduo de casca de laranja, comparando a ultrassonificação e a extrusão, com essa última identificada como o método mais rentável, apresentando a maior taxa de retorno sobre o investimento em 43,77% e a maior taxa interna de retorno em 31,37% para cada unidade monetária investida. Isso indica que, dentre as duas opções avaliadas para a produção de concentrado de fibra dietética solúvel, a extrusão oferece o melhor desempenho econômico, justificando assim a preferência por essa tecnologia sob a perspectiva de investimento. Os mesmos autores ressaltam que a utilização de fontes de energia renováveis, especialmente a energia solar, reduziu significativamente os custos de utilidade e melhorou a economia geral dos processos.

A taxa interna de retorno e valor presente líquido são categorias de impacto utilizada pelo estudo de Rajendran et al. (2022) como parte de uma análise tecnoeconômica detalhada da produção de biodiesel a partir de resíduos alimentares, dentre eles, a casca da laranja, contendo 30,1% de óleo, utilizando um catalisador de biochar de baixo custo. A taxa interna de retorno após impostos foi calculada em 39,92%, o que indica uma alta rentabilidade da opção. Além disso, o estudo fornece outros detalhes financeiros importantes do projeto, como: receita anual da planta produtiva, estimada em US\$ 24.140.000 para um período de operações de 20 anos. O tempo de retorno do investimento foi calculado em 3,16 anos, destacando um período relativamente curto para recuperar o capital investido. Para o valor presente líquido, foi estimado em US\$ 55.017.000 a uma taxa de juros de 10,0%, o que sugere que o projeto é financeiramente viável e gera um retorno positivo sobre o investimento. E preço mínimo de venda de US\$ 0,46 por litro para o biodiesel; destacando que o processo é sustentável

economicamente, apesar de alguns impactos ambientais maiores, graças ao processo de extração avançado e ao uso reduzido de solventes na produção de biodiesel, contribuindo para a viabilidade econômica.

As categorias de impacto taxa interna de retorno e valor presente líquido são evidenciadas no estudo de Sgroi et al. (2015) que analisa a viabilidade econômica e financeira de pomares de limão orgânicos em comparação com os convencionais. A taxa interna de retorno para os pomares de limão orgânico foi calculada em 28,5%, o que indica uma vantagem clara em termos de rentabilidade financeira para a agricultura orgânica em comparação com a agricultura convencional, cuja taxa foi de 19,0%.

Os autores mencionam ainda o valor presente líquido para os pomares de limão orgânico, foi de 52.675,57 euros por hectare, significativamente maior do que os 34.960,60 euros por hectare dos pomares convencionais, indicando que o investimento em agricultura orgânica tem um valor futuro líquido superior ao convencional. A razão de benefício de caixa descontado foi de 5,16 para os pomares orgânicos, comparado a 3,76 para os pomares convencionais, sugerindo uma relação mais favorável entre os benefícios de caixa descontados e o custo do investimento na agricultura orgânica. E, o tempo de retorno descontado foi calculado em 7 anos para a agricultura orgânica, em comparação com 10 anos para a agricultura convencional, indicando que o tempo necessário para recuperar o investimento inicial é menor para os pomares de limão orgânico. Apesar de um rendimento por hectare mais alto na produção convencional de limão, o preço de venda no mercado é menor, o que, juntamente com custos de produção mais altos, resulta em uma rentabilidade maior para a produção de limão orgânico, nesse sentido, a certificação orgânica e a preferência do mercado por produtos sustentáveis podem garantir preços de venda mais altos e maior rentabilidade para os agricultores orgânicos.

Em igual sentido ao supracitado, o estudo de Testa et al. (2015) menciona a taxa interna de retorno ao analisar a viabilidade econômica da agricultura orgânica de limão em comparação com métodos convencionais. A taxa interna de retorno para pomares orgânicos de limão foi calculada em 7,66%, indicando uma vantagem econômica clara para a agricultura orgânica sobre os métodos convencionais. Foi mencionado ainda outros indicadores financeiros, inicialmente com o valor presente líquido para os pomares orgânicos de limão foi de 23.187,81 euros por hectare, contrastando com valor presente líquido de -10.396,15 euros por hectare para pomares convencionais, constatando que a agricultura orgânica é financeiramente mais viável sob as condições de mercado da época do estudo. A razão de benefício de caixa descontado para a agricultura orgânica foi de 1,17, indicando que por cada euro investido, espera-se um retorno

de 1,17 euros, enquanto para a agricultura convencional, a razão foi de 0,93, indicando uma falta de rentabilidade. O tempo de retorno descontado para a agricultura orgânica foi calculado em 17,5 anos, refletindo o tempo necessário para recuperar o investimento inicial através do fluxo de caixa gerado. Ainda, é evidenciado a importância dos pagamentos agroambientais, sem os quais a atratividade financeira dos pomares orgânicos diminuiria significativamente, mesmo com uma redução de 10% nos preços do limão, os pomares orgânicos permaneceriam financeiramente viáveis, enquanto uma redução de 10% no preço de venda para pomares orgânicos sem pagamentos agroambientais tornaria o investimento inviável. Para os pomares convencionais, um aumento de 10% no preço de mercado tornaria o investimento financeiramente viável.

Quanto a categoria de impacto custos de manutenção a pesquisa de Pergola et al. (2013) fornece informações sobre os custos de manutenção associados aos sistemas de cultivo orgânico e convencional, na qual, a análise destaca que, embora os sistemas orgânicos demonstrem melhor desempenho ambiental e energético, eles são significativamente afetados pelos custos com salários, assim como os sistemas convencionais, sugerindo que os custos de mão de obra são um fator crucial em ambos os métodos de cultivo.

De Luca et al. (2015) em seu estudo menciona a análise da eficiência econômica usando o valor presente líquido e a taxa interna de retorno como categorias de impacto, além do impacto na estabilidade do emprego. A eficiência econômica, é enfatizada, dentro do contexto da produção cítrica em Calábria, abordando questões como a evasão de contribuições previdenciárias no setor, especialmente em fazendas convencionais na planície de Gioia Tauro. Destacando uma preocupação com as práticas econômicas dentro da produção cítrica e seu impacto na sustentabilidade social e econômica de toda a cadeia de suprimentos.

5.1.2.5.3.3. Abordagem social do ciclo de vida: trabalhadores e fatores de risco psicossocial

A abordagem social do ciclo de vida não possui nenhum termo evidenciado pela Figura 17, pois a formação da análise de nuvem de palavras considerou como valor mínimo 3 menções, e nenhuma categoria de impacto da referida abordagem alcançou tal valor. No entanto, será considerado os termos mencionados apenas uma vez.

As categorias de impacto (e suas subcategorias): direitos trabalhistas (trabalho infantil, trabalho forçado, tempo de trabalho excessivo, avaliação de salários, pobreza, trabalho migrante, negociação coletiva, benefícios sociais), saúde e segurança (lesões e fatalidades e tóxicos e perigos), direitos humanos (direitos indígenas, equidade de gênero, alto conflito),

governança (sistema legal e corrupção) e comunidade (água potável, saneamento melhorado, leitos hospitalares) são englobadas no estudo de Muñoz Torres et al. (2022), cuja pesquisa procura evidenciar as técnicas agrícolas e da gestão de pomares como fatores significativos na sustentabilidade da produção de alimentos, enfocando especialmente o impacto do comprimento da cadeia de suprimentos de alimentos nos aspectos sociais e ambientais do setor. Apesar da ampla categoria de impacto, o estudo menciona especificamente a necessidade de gerenciamento cuidadoso de questões como o uso da água e o trabalho migrante na produção de produtos domésticos, informando que práticas trabalhistas, especialmente no que diz respeito ao trabalho migrante, são áreas que necessitam de atenção especial para garantir a sustentabilidade social das cadeias de suprimentos da laranja.

Iofrida et al. (2019) em sua pesquisa utiliza a categoria de impacto fatores de risco psicossocial, qualificada como os aspectos e características do planejamento e gestão do trabalho que podem potencialmente levar a danos físicos ou psicológicos. O estudo menciona fatores de risco psicossocial como parte de uma análise de inventário que definiu cada fase do cultivo de laranjas industriais e clementinas. A análise categorizou várias tarefas, como plantio, poda e colheita, e associou essas tarefas a diferentes condições de trabalho, correlacionando essas condições de trabalho com doenças, utilizando razões de chances como medida de associação entre as duas variáveis. Os resultados indicaram que o ciclo de vida completo das laranjas industriais envolveu cerca de 43.088 horas de trabalho, em comparação com 54.110 horas para o ciclo de vida da clementina. Esta diferença foi principalmente atribuída aos tamanhos de rendimento e à duração da fase de colheita. O ciclo de vida da clementina expôs os trabalhadores ao risco de dores nas costas, pela dedicação de 67.776 horas a produção, contra 48.700 horas para o ciclo de vida da laranja industrial.

Vale destacar ainda que a metodologia aplicada neste estudo, o caminho de impacto do fator de risco psicossocial, foi desenvolvida dentro dos paradigmas pós-positivistas. Este método quantificou as relações de causa e efeito entre os ciclos de vida da produção de laranja e seus potenciais impactos psicossociais nos trabalhadores afetados. A postura ontológica do estudo foi o realismo crítico, visando explicar a realidade, mas envolvendo algumas suposições e não desconsiderando as opiniões dos trabalhadores. Fornecendo uma avaliação objetiva das diferenças entre os dois cenários produtivos, e passível de ser generalizado para outros contextos.

O estudo de De Luca et al. (2015) se configura pelas seguintes categorias de impacto: trabalhadores, condições de trabalho e oportunidades iguais, mencionando vários aspectos

relacionados aos trabalhadores no setor de cultivo de cítricos na Calábria, onde há riscos de saúde e segurança associados às operações de campo, como lesões e doenças decorrentes das condições de trabalho. Evidenciando preocupação significativa com o bem-estar físico dos trabalhadores diretamente envolvidos na produção de laranja, sublinhando a importância de implementar medidas de proteção adequadas para mitigar esses riscos. Ademais, foram identificadas questões relacionadas ao trabalho ilegal e ao risco de maus-tratos a imigrantes, apontando para a necessidade de garantir condições de trabalho justas e éticas dentro do setor, especialmente considerando a vulnerabilidade dos trabalhadores migrantes e a possibilidade de exploração.

Os autores abordam a discriminação entre trabalhadores, tanto entre italianos e estrangeiros quanto entre homens e mulheres, a constatação dessa discriminação impacta negativamente as oportunidades iguais de emprego e avanço dentro do setor, evidenciando a necessidade de políticas e práticas que promovam a igualdade e combatam a discriminação. Além de ilustrar a complexidade de avaliar os impactos sociais no setor agrícola e destaca as complexidades para a coleta de dados e integração de diferentes categorias de impacto.

5.2. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida

No presente tópico serão apresentados os resultados para a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida considerando o fluxo de referência é a produção de laranja orgânica, enquanto a unidade funcional é 1 quilo de produção para a área destinada a produção de laranja nas propriedades. Detalhando inventário do ciclo de vida, a análise de impacto e a interpretação dos dados obtidos com os produtores orgânicos de Buri e Itapetininga.

5.2.1. Produção orgânica de Buri

5.2.1.1. Inventário do ciclo de vida

5.2.1.1.1. Inventário ambiental do ciclo de vida

A coleta de dados para propriedade agrícola de Buri proporcionou o inventário ambiental, disposto na Tabela 4, abaixo:

Tabela 4 - inventário ambiental do ciclo de vida do produtor buriense de laranja

<i>Processos</i>	<i>Entradas</i>				
	Fluxos	Valor bruto	Valor m ² /ano	Valor hectare/ano	Unidade de medida

Plantio	Ocupação da terra	0,2400	0,0001	1	Hectare
	Transformação da terra	0,2400	0,0001	1	Hectare
	Muda	6,6700	0,0028	27,7788	Item
Manutenção do pomar	Detergente	0,2000	$8,33 \times 10^{-05}$	0,8333	Metros quadrados (m ²)
	Água para detergente	0,0400	$1,667 \times 10^{-05}$	0,1667	Quilograma (kg)
	Esterco de gado	1.866,0000	0,775	7.775	Quilograma (kg)
	Transporte de esterco de gado (diesel)	3,7320	0,0016	15,5500	Tonelada por quilometro (t*km)
	Trator (diesel)	563,6624	0,2349	2.348,5933	Mega Joule por ano
	Roçadeira costal (gasolina)	198,5984	0,0827	827,4933	Mega Joule por ano
Saídas					
Colheita	Laranja	20	0,0083	83,3333	Quilograma (kg)
	Mixirica	235	0,0979	979,1667	Quilograma (kg)
	Limão	20	0,0083	83,3333	Quilograma (kg)
Emissões para o ar	Óxido nitroso (N ₂ O)	0,0047	$1,95 \times 10^{-06}$	0,0195	Quilograma (kg)
	Dióxido de carbono (CO ₂)	-1.104	-0,4600	-4.600	Quilograma (kg)

Fonte: elaborado pelo autor.

A constatação inicial é quanto ao número de entradas, por se configurar como um sistema orgânico a produção possui poucas entradas, contabilizadas em nove considerando o uso da terra, plantação e manutenção do pomar, diante do sistema convencional, que variam entre cinquenta a vinte entradas (MARIANA; ALZATE; ARIEL, 2021; KNUDSEN et al., 2011). Por se tratar de um sistema que considera o modo natural de produção “deixando a árvore dar seus frutos com pouca intervenção” humana, relata o produtor. Nesse sentido, não houve introdução de nenhum tipo de fertilizante no solo no início da plantação de laranja, bem como, não há a utilização de água para a irrigação do pomar e energia elétrica, “somente água da chuva”, menciona o agricultor. Houve a introdução de 100 mudas de citrus, ramificadas em 10 pés de laranja, 8 de limão e 82 de mixirica.

A manutenção do pomar é realizada com a entrada de $8,33 \times 10^{-05}$ metro quadrado de detergente convencional encontrado em mercado local, utilizado como defensivo agrícola. E diluída em $1,667 \times 10^{-05}$ quilos de água potável oriunda de poço artesiano pertencente a propriedade. A fertilização do solo é realizada com esterco de gado, com origem em um produtor de leite a cerca de 6 quilômetros de distância da propriedade produtora de laranja, a entrada de fertilizante por metro quadrado é de 0,775 quilogramas. O transporte do esterco de uma propriedade a outra foi realizado por meio de um caminhão de propriedade da prefeitura

municipal de Buri, cuja marca é Ford, modelo cargo 816, ano 2012, com autonomia de 6,2 quilômetros por litro de diesel. Como são realizadas duas viagens (considerando ida e volta, 12 quilômetros no total), equivalente a 24 metros cúbicos, o total utilizado em toda a propriedade como fertilizante, para a área equivalente a produção de laranja são necessários 2 metros cúbicos, o equivalente a 4 de 24 viagens, ou seja, 2 quilômetros resultando em um valor de 0,0016 tonelada por quilometro para o transporte. Quanto ao trator, utilizado duas vezes ao ano para realizar a capina do mato entre os pés de laranja, há a entrada do valor de 0,2349 Mega Joule por tonelada de diesel. A roçadeira costal também utilizada na capina, o valor de entrada é de 0,0827 Mega Joule por ano de gasolina.

As saídas são caracterizadas pelos produtos e emissões para o ar. Para o primeiro, temos a laranja com 0,0083 quilogramas, limão com 0,0083 quilogramas e mixirica com 0,0979 quilogramas, quanto ao segundo temos emissões inerentes ao óxido nitroso (N₂O) com valores de 1,95x10⁻⁰⁶ quilogramas e dióxido de carbono (CO₂) com -0,4600 quilogramas. Foram desconsiderados os dados quanto ao metano, em virtude do esterco ser misturado com serragem rica em carbono, que neutraliza sua formação (SILVA et al., 2024). Todos os valores estão convertidos para a unidade funcional.

5.2.1.1.2. Inventário de custeio do ciclo de vida

O inventário de custeio do ciclo de vida é apresentado com informações consolidadas, pois foi possível realizar um levantamento detalhado junto ao produtor. A Tabela 5 evidencia essas informações.

Tabela 5 - custeio do ciclo de vida para a produção buriense de laranja

<i>Tipo de custo</i>	<i>Detalhamento</i>	<i>Valores para a área de cultivo (US\$)</i>
Despesas do custeio	Operação com animal	0,0000
	Operação com avião	0,0000
	Operação com máquinas: tratores e colheitadeiras; conjunto de irrigação	9,5266
	Aluguel de máquinas	0,0000
	Aluguel de animais	0,0000
	Mão de obra	1,7330
	Administrador	0,0000
	Sementes e mudas	18,5460
	Fertilizantes	14,8368
	Agrotóxicos	0,0000
	Receita	-16,6914
	Outros: embalagens/utensílios, análise de solo, demais despesas	127,4340
	Serviços diversos	15,0393
Total das despesas de custeio (A)		170,4242
Outras despesas	Transporte externo	9,2730
	Despesas administrativas	6,4009

	Despesas de armazenagem	0,0000
	Beneficiamento	0,0000
	Seguro da produção	0,0000
	Seguro do crédito	0,0000
	Assistência técnica	0,0000
	Classificação	0,0000
	Outros (certificado orgânico)	0,0000
	Contribuição especial para a seguridade social rural	20,8634
Total das outras despesas (B)		36,5373
Despesas financeiras	Juros do financiamento	0,0000
Total das despesas financeiras (C)		0,0000
Custo variável (A+B+C=D)		223,6530
Depreciações	Depreciação de benfeitorias/instalações	166,1372
	Depreciação de implementos	0,00000
	Depreciação de máquinas	14,4894
	Exaustão do cultivo	2,4847
Total das depreciações (E)		183,1113
Outros custos fixos	Manutenção periódica benfeitorias/instalações	1.232,5359
	Encargos sociais	0,0000
	Seguro do capital fixo	0,0935
	Arrendamento	0,0000
Total dos outros custos fixos (F)		1.232,6293
Custo fixo (E+F=G)		1.415,7406
Custo operacional (D+G=H)		1.639,3936
Renda de fatores	Remuneração esperada sobre o capital fixo	1,9619
	Remuneração esperada sobre o cultivo	0,0969
	Terra própria	1.084,9407
Total da renda de fatores		1.086,9994
TOTAL CUSTEIO		2.709,7016

Fonte: elaborado pelo autor.

As despesas de custeio são circunscritas quanto operação com máquinas, mais especificamente quanto ao trator e manutenção, com a entrada de valor de US\$ 9,5266, ramificada para o trator o valor de US\$ 9,1863 e a manutenção obtém valor de US\$ 0,3430, ao ano. A mão de obra alcança valor de US\$ 1,733 ao ano. Sementes e mudas possuem entrada de US\$ 18,5460 pelo metro quadrado da área destinada ao pomar ao longo do tempo de geração de frutos pelos pés. Fertilizantes tem valor de US\$ 14,8368 por metro quadrado de área de produção. A receita gera valor de US\$ 16,6914, mas como é uma entrada para a estruturação de custos é um saldo negativo. E, outros serviços, que inclui embalagens/utensílios, análise de solo e demais despesas geram US\$ 127,4340 de custo por ano para a área de produção de laranja. Serviços diversos alcançam US\$ 15,0393 de custos. Os custos supramencionados geram o total das despesas de custeio no valor de US\$ 187,1156, sem as receitas. Quando elas são acrescidas as despesas de custeio são de US\$ 170,4242. As demais despesas de custeio não são contabilizadas por não existirem custos atrelados a elas no processo do produtor buriense.

O tipo de custo, outras despesas, não foram auferido nenhum valor para despesas de armazenagem, beneficiamento, seguro da produção, seguro do crédito, assistência técnica,

classificação e outros. Mas para transporte externo o valor do custo foi de US\$ 9,2730, as despesas administrativas geraram valor de US\$ 6,4009, e a contribuição especial para a seguridade social rural alcançou US\$ 20,8634, somadas essas despesas geram um total de custeio de US\$ 36,5373. Despesas financeiras, mais especificamente quanto aos juros do financiamento obtiveram valor igual a zero, pois não há financiamento atrelado a produção de laranja orgânica. O custo variável, portanto, foi de US\$ 206,9616, constituído pela soma dos custos de despesas do custeio, outras despesas e despesas financeiras.

As depreciações envolvendo as benfeitorias/instalações foram da ordem de US\$ 166,1372. Para as máquinas os valores dos custos foram de US\$ 14,4894. E a exaustão do cultivo foi de US\$ 2,4847. Os Implementos tiveram custo de depreciação igual a zero. A totalidade para a referida categoria foi de US\$ 183,1113.

Outros custos fixos são ramificados em manutenção periódica benfeitorias/instalações, encargos sociais, seguro do capital fixo e arrendamento. Tanto encargos sociais quanto arrendamento obtiveram valor igual a zero, por não existirem esse custo na propriedade. A manutenção periódica benfeitorias/instalações, por seu lado, gerou valor de US\$ 1.232,5359. E o seguro sobre o capital fixo valor igual a US\$ 0,5040. Somados esses valores totalizam US\$ 1.232,6293. Os custos fixos consistem na junção entre as categorias outros custos fixos e depreciações, resultando em valor de US\$ 1.415,7406.

A renda total dos fatores considera a remuneração esperada sobre o capital fixo, resultando em valor de US\$ 1,9619. E ainda, a remuneração esperada sobre o cultivo, no valor de US\$ 0,0969. Por fim, a terra própria, com valor de US\$ 1.084,9994. Juntos proporcionam o valor de US\$ 1.086,9994

O custo operacional para a produção orgânica de laranja é formado pela soma dos custos variáveis com os custos fixos que gera valor de US\$ 1.622,7022. E o custo total é constituído pelos custos fixos acrescidos da renda total de fatores, proporcionando valor de US\$ 2.709,7016 para a área de produção de laranja.

5.2.1.1.3. Inventário social do ciclo de vida

O inventário social do ciclo de vida foi realizado apenas com o proprietário da produção orgânica, haja visto, que não há mais funcionários na propriedade, durante o período de catalogação dos dados de inventário social. O questionário foi aplicado integralmente, com triangulação das informações por meio de análise documental e observação sistemática da produção. Todas as perguntas foram respondidas pelo produtor, apesar da complexidade de suas

respostas, o tom das informações parecia algo natural, sem hesitações e com amplo conhecimento dos dados. Vale destacar, que mesmo não tendo funcionários, a produção ainda persiste, confirmando o que a literatura menciona sobre proprietário e trabalhador se resumirem na mesma figura na produção orgânica familiar (BELTRAME; PEREIRA, 2017).

Foi realizada tentativa de contato com o antigo funcionário durante o período de levantamento de dados, no entanto, não foi possível a aplicação do questionário social junto ao trabalhador por não o encontrar.

O agricultor foi questionado sobre a existência ou não de um funcionário na propriedade, inicialmente houve negativa. Após investigar as anotações de campo, oriundas da observação sistemática, foi constatado a existência de um funcionário no dia 01 de fevereiro de 2024, diante disso, é questionado ao proprietário se existiu algum funcionário ao longo de 2024, obtendo-se a informação positiva. O proprietário menciona que entre 23 de janeiro de 2024 a 30 de abril de 2024 houve um trabalhador. Esse funcionário era estrangeiro. Sua vinda ao país foi inteiramente custeada pelo proprietário, sem informar com detalhes como funciona esse processo, apenas informou que os custos seriam pagos com o 13º salário do funcionário.

Para a efetivação do pagamento do 13º salário é necessário a existência de vínculo empregatício por meio da assinatura da carteira de trabalho e fundo de garantia (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), no entanto quando questionado sobre a contratação do funcionário com carteira assinada, o produtor informou não ter realizado. Sob justificativa de que o trabalhador não estava com a documentação regular no país, pois não possuía carteira de trabalho, bem como, qualquer outro documento que atestassem a relação laboral formal. Como forma de atenuar a não existência de vínculo formal, o proprietário reforçava em diferentes momentos que os custos para a chegada até o local de trabalho saíram exclusivamente do “seu bolso”.

Em seguida houve questionamento sobre a existência de salário mensal ao trabalhador, a qual gerou a informação de que era pago um salário-mínimo com valor de R\$ 1.400, acrescidos de disponibilidade de moradia, estimada pelo proprietário no valor de R\$ 500, uma cesta básica brasileira com custo de R\$ 150, internet, água e luz, e os gêneros alimentícios produzidos na propriedade poderiam ser consumido pelo trabalhador, sem estimar qual seriam os custos desses últimos itens. A pergunta, por conseguinte, estava relacionada a entender se havia descontos nos salários do funcionário e se havia alguma justificativa para realizar descontos no salário, como resposta foi informado não existir nenhum tipo de desconto no salário pelos serviços prestados, oferecendo mais detalhes sobre como esse estrangeiro veio à

propriedade, “menciona o produtor: “foi pago as passagens e depois o funcionário vai pagando aos poucos”. Ao ser questionado sobre como ele faria para receber de volta os custos empenhados para trazer o funcionário até sua produção, diz: “eu iria descontar no seu 13º salário”, ou seja, havia intenção de realizar descontos no salário do trabalhador, o que não foi concretizado em virtude de a relação laboral ter sido interrompida antes do previsto.

Foram realizadas perguntas em relação às horas de trabalho, mais especificamente sobre qual o regime de horas que os funcionários praticavam na propriedade, a qual resultou na resposta que o trabalho era de 8 horas de segunda a sexta-feira, e 4 horas aos sábados. No entanto, ao ser questionado quanto tempo o proprietário trabalha na propriedade ele mencionou que todos os dias realiza trabalho, “do momento que o sol nasce até quando o sol se põe”. Quando questionado sobre o trabalho no feriado, houve a informação de que o funcionário não trabalhava em feriado. A pergunta seguinte foi no tocante a acordos sobre trabalhar fora do horário previamente combinado e se existe o recebimento de hora extra, com o proprietário informando que não há registro de banco de horas, logo não existe hora extra.

A pergunta seguinte complementa a anterior, pois procurou entender se há flexibilidade na jornada de trabalho, nesse momento, houve informação de que existe flexibilidade, seguiu o proprietário: “quando fomos retirar os documentos para regularizar a situação dele no Brasil, o tempo que usamos para isso seria posteriormente compensado com trabalho, pois ele ficou fora do trabalho né”, os documentos referidos anteriormente são o registro nacional migratório e o cadastro de pessoa física. Evidenciando que apesar de haver uma aparente flexibilidade na jornada de trabalho, essa flexibilidade está subordinada a uma lógica que privilegia os interesses do empregador e não do trabalhador. A necessidade de regularizar os documentos migratórios, que é um direito básico para o trabalhador, foi condicionada à compensação de horas de trabalho, sugerindo uma relação de controle e dependência.

O presente grupo de perguntas visava compreender aspectos envolvendo trabalho forçado, nesse sentido, foram realizadas questões que procuram compreender se existia a realização de contratos de trabalho com os funcionários, bem como, se esses contratos eram registrados e mantidos em arquivo passível de ser acessado pelos funcionários, em seguida o produtor responde que não existia contrato de trabalho com o funcionário. A pergunta no tocante a existência de práticas na propriedade para a retenção de documentos pessoais do funcionário gerou certa tensão, pois o proprietário questionou se a pergunta possui relação com as práticas existentes na região, informando ser comum que os proprietários de outras fazendas tomem o documento de seus funcionários, reforçando um dado de que as propriedades agrárias da região

possuem trabalho análogo a escravidão (ZEM, 2023). No entanto, o produtor informou não haver retenção de documentos e foi além ao informar que auxiliou o trabalhador estrangeiro na obtenção de documentos para a regularização da sua permanência no Brasil, quais sejam, os documentos de registro nacional migratório, bem como, cadastro de pessoa física, e com o traslado entre o local de produção e a Polícia Federal, órgão responsável pelo mapeamento dos estrangeiros aqui existentes. Quando questionado sobre a possibilidade de o funcionário pedir demissão a qualquer momento, a resposta foi: “é possível pedir demissão quando a pessoa bem entender”, tanto que o funcionário assim o fez. A pergunta a seguir visou entender se o trabalhador devia ficar trabalhando por conta de alguma dívida adquirida com o empregador, a resposta do proprietário foi no sentido de negar a existência de vínculo em virtude de dívida, no entanto, considerando todas as informações relatadas até aqui, observou-se que havia a existência de dívida do funcionário com o empregador.

O último grupo de perguntas procurou identificar os aspectos inerentes às condições de trabalho envolvendo saúde e segurança. Nesse sentido, a primeira pergunta procurou mapear a existência de acidentes de trabalho na propriedade, não existindo acidente para o período avaliado. A segunda pergunta foi sobre a existência de regras ou instruções ao empregado sobre segurança de trabalho, não existindo regras, bem como, uma estrutura de regras e instruções sobre segurança do trabalho, o que houve foi apenas instruções sobre como manusear a roçadeira costal. Por fim, foi perguntado sobre o fornecimento de equipamento de proteção individual ao funcionário caso necessário, e a resposta obtida é que houve fornecimento dos equipamentos.

5.2.1.2. Avaliação de impacto do ciclo de vida

5.2.1.2.1. Avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida

Os valores absolutos dos impactos por categoria de impacto são demonstrados na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 - resultados da avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida

<i>Categoria de impacto</i>	<i>Resultado da avaliação de impacto</i>	<i>Unidade</i>
Mudança climática - longo prazo (MC (longo))	$1,38 \times 10^{-01}$	kg CO ₂ eq. (longo)
Mudança climática - curto prazo (MC (curto))	$1,32 \times 10^{00}$	kg CO ₂ eq. (curto)
Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)	$2,39 \times 10^{+01}$	MJ privados
Acidificação de água doce (AAD)	$3,90 \times 10^{-14}$	MJ privados
Ecotoxicidade em água doce (EAD)	$3,19 \times 10^{+04}$	CTUe

Eutrofização de água doce (EuAD)	$2,06 \times 10^{-04}$	kg PO ₄ P-lim. eq.
Toxicidade humana - cancerígena (TH)	$1,50 \times 10^{-07}$	CTUh
Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer)	$-6,62 \times 10^{-08}$	CTUh
Radiações ionizantes (RI)	$6,21 \times 10^{+00}$	Bq C-14 eq.
Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT)	$7,40 \times 10^{+00}$	m ² de terras aráveis eq.ano
Transformação de terras - perda de biodiversidade (TT)	$-1,16 \times 10^{+00}$	m ² de terras aráveis eq.
Eutrofização marinha (EM)	$4,06 \times 10^{-04}$	kg N N-lim. eq.
Uso de recursos minerais (URM)	$1,43 \times 10^{-02}$	kg privados
Degradação da camada de ozônio (DMO)	$6,53 \times 10^{-08}$	kg CFC-11 eq.
Formação de material particulado (FMP)	$2,46 \times 10^{-06}$	kg PM _{2,5} eq.
Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)	$1,31 \times 10^{-02}$	kg NMVOC eq.
Acidificação terrestre (AT)	$1,06 \times 10^{-07}$	kg SO ₂ eq.
Escassez de água (EA)	$1,21 \times 10^{+02}$	m ³ eq. mundial

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos na Tabela 6 fornecem informações importantes acerca da produção orgânica de laranja. As mudanças climáticas de curto prazo apresentam um impacto maior do que a de longo prazo, com a primeira obtendo valor de $1,32 \times 10^{00}$ kg CO₂ eq., enquanto a segunda teve valor de $1,38 \times 10^{-01}$ kg CO₂ eq., indicando que as emissões associadas ao ciclo de vida afetam de maneira mais significativa o aquecimento global no curto prazo, devido a atividades de energia e processos iniciais no ciclo de vida. Para a categoria de impacto uso de energia fóssil e nuclear, há impacto considerável de $2,39 \times 10^{+01}$ MJ privados evidenciando que, apesar de ser uma produção orgânica, há dependência significativa de energia fóssil no processo produtivo.

A acidificação de água doce apresenta impacto baixo, $3,90 \times 10^{-14}$ MJ privados, o que é um ponto positivo. No entanto, a ecotoxicidade em água doce é alta $3,19 \times 10^{+04}$ CTUe, indicando potencial contaminação de ecossistemas aquáticos, como reflexo do uso de insumos ou manejo inadequado ao longo do ciclo de vida, principalmente atrelado ao esterco e a fonte de alimentação bovina. A eutrofização de água doce apresenta um impacto moderado, de $2,06 \times 10^{-4}$ kg PO₄ eq., ligado ao manejo de nutrientes. A eutrofização marinha, por seu lado, alcança resultado de $4,06 \times 10^{-4}$ kg N eq., considerada também moderada e está relacionada ao escoamento de nutrientes, como nitrogênio. Toxicidade humana cancerígena é baixa, com valor de $1,50 \times 10^{-7}$ CTUh, evidenciando que os riscos potenciais à saúde humana nesse aspecto são limitados. A toxicidade humana não-cancerígena apresenta um valor negativo de $-6,62 \times 10^{-8}$

CTUh, ou seja, tem um impacto positivo, por evitar substâncias perigosas associadas a sistemas convencionais.

O impacto das radiações ionizantes, na ordem de $6,21 \times 10^{+00}$ Bq. C-14 eq., é moderado, mas deve receber atenção, devido à potencial vinculação com fontes de energia nuclear. Ademais, a ocupação de terras mostra uma perda significativa de biodiversidade, de $7,40 \times 10^{+00}$ m² de terras aráveis eq.ano, comum em produções agrícolas que exigem mais espaço devido à ausência de insumos artificiais, como a orgânica. A transformação de terras, por outro lado, apresenta um impacto negativo de -1,16 m² de terras aráveis eq., evidenciando potencial regeneração ambiental ou menor impacto em relação a práticas convencionais, em virtude das árvores de laranja absorverem mais carbono biogênico que as culturas nativas da região (SANTOS et al., 2024). O impacto potencial na escassez de água foi de $1,21 \times 10^{+02}$ m³ eq. mundial, considerado elevado, destacando a necessidade de estratégias mais eficientes no uso da água. A formação de material particulado, é da ordem de $2,46 \times 10^{-6}$ kg PM_{2.5} eq., tida como baixa, indicando emissões limitadas de partículas finas. A formação de oxidantes fotoquímicos, em $1,31 \times 10^{-2}$ kg NMVOC eq., é controlada, mas requer atenção devido a emissões de compostos orgânicos voláteis.

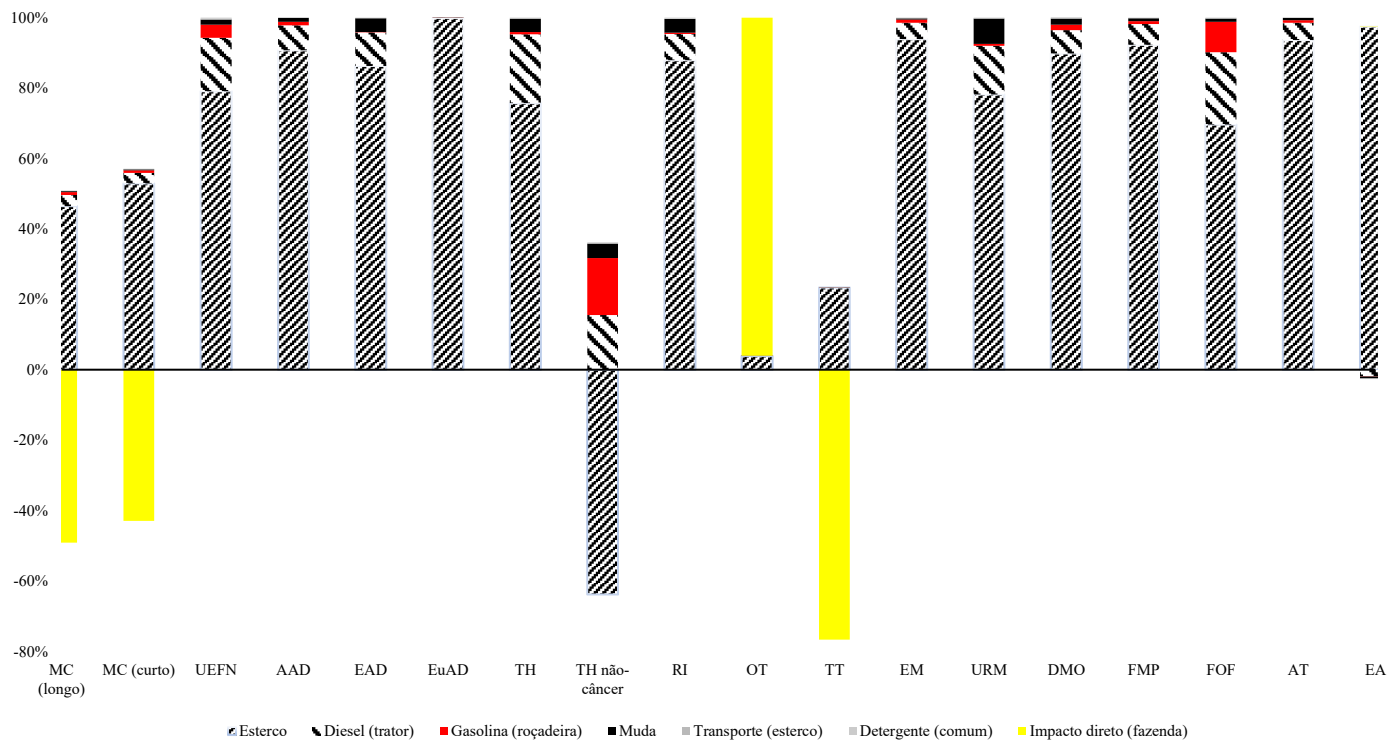
A avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida foi normalizada e demonstrada em percentual, no Gráfico 4 para a produção de 1 quilos de laranja. Vale destacar que não são considerados os valores de fixação de carbono biogênico pelas árvores e os resíduos de laranja deixados em volta dos pés para a produção buriense. A propriedade se configura como uma produção orgânica, nesse sentido, os dados de entradas foram agregados. Mas é possível observar as contribuições de cada aspecto ambiental (entradas e saídas) do sistema nas categorias de impacto avaliadas. De forma geral, observa-se que o fertilizante é o contribuinte mais significativo em quase todas as categorias de impacto com contribuição superior a 69,00%, exceto pelas categorias de toxicidade humana (não-cancer), ocupação (OT) e transformação (TT) da terra, na qual as contribuições diretas do sistema tem resultados mais significativos.

O segundo maior contribuinte com os impactos é o diesel utilizado pelo trator, menos para as categorias eutrofização de água doce (EuAD) e ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT), a qual oscila para terceiro. Para toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer), transformação de terras - perda de biodiversidade (TT) e escassez de água (EA) os impactos são negativos, cujo indicação é uma contribuição positiva para o ambiente.

Todas as demais entradas do sistema apresentam contribuição inferior a 10,00% em grande parte das categorias analisadas, com exceção da mudança climática de longo prazo. O

APÊNDICE 3 detalha as contribuições por entrada no sistema para cada categoria de impacto, em números absolutos.

Gráfico 4 - avaliação de impacto ambiental do produtor buriense



Fonte: elaborado pelo autor. Mudança climática - longo prazo (MC (longo)), mudança climática - curto prazo (MC (curto)), uso de energia fóssil e nuclear (UEFN), acidificação de água doce (AAD), ecotoxicidade em água doce (EAD), eutrofização de água doce (EuAD), toxicidade humana - cancerígena (TH), toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer), radiações ionizantes (RI), ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT), transformação de terras - perda de biodiversidade (TT), eutrofização marinha (EM), uso de recursos minerais (URM), degradação da camada de ozônio (DMO), formação de material particulado (FMP), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), acidificação terrestre (AT), escassez de água (EA).

Para a categoria de impacto mudança climática de longo prazo (MC longo) o processo produtivo em voga emitiu $1,38 \times 10^{+01}$ kg CO₂ eq. (*long*) por quilo de laranja produzida. O fertilizante orgânico oriundo de gado leiteiro foi responsável por 2.760,32% da contribuição com as emissões potenciais dessa categoria, em virtude do manejo animal com valor adicionado de 2.606,12%, mais especificamente quanto a alimentação, majoritariamente de origem de monocultivo. A queima do diesel na agricultura contribui com 189,01%, e a gasolina contribui em 45,20% nas emissões. Para o último caso, a produção do petróleo é o aspecto que mais contribui com os impactos. Quanto ao diesel o mercado de alumínio proporciona as contribuições mais significativa. Esses impactos são superiores a 100% em virtude da captura de dióxido de carbono que ocorre devido a mudança no uso da terra com valor de $-4,03 \times 10^{+01}$ kg CO₂ eq (*long*) representando -2.920,55%.

A categoria de impacto mudança climática de curto prazo (MC curto) proporcionou emissão de $1,32 \times 10^{+00}$ kg CO₂ eq. (*short*). Como na categoria supramencionada, os principais contribuintes se ramificam em manejo animal (376,66%), queima do diesel na agricultura (21,18%), e a gasolina em maquinário da agricultura (5,10%). O impacto direto contribui com $-4,03 \times 10^{+00}$, equivalente a -305,87% do percentual total.

O uso de energia fóssil e nuclear (UEFN) emitiu $2,39 \times 10^{+01}$ Mega Joule privados. O esterco bovino permanece como maior contribuinte para a presente categoria de impacto, com valor de 79,09%, o manejo animal é a atividade que adiciona mais valor à categoria de impacto com 71,65%. A queima de diesel na atividade agrícola vem em seguida com contribuição de 15,18%. E a queima de gasolina em maquinário agrícola contribui com 3,78%. Juntos representam 98,65% dos impactos.

A acidificação de água doce (AAD) é resultado das emissões diretas do campo em virtude da entrada de insumos agrícolas, especialmente o fertilizante utilizado na nutrição do solo onde as árvores irão crescer (ALISHAH et al., 2019). A emissão foi de $3,90 \times 10^{-14}$ kg SO₂ eq. e sua contribuição representa 90,74% dos impactos, ao passo que, as demais atividades de entrada no sistema somadas culminam em valor inferior a 9,25%. Evidenciando que tanto na produção convencional (ALISHAH et al., 2019; PERGOLA et al., 2013), quanto na orgânica o fertilizante possui relevante papel na contribuição de impacto ambiental potencial.

O esterco bovino leiteiro permanece como maior contribuinte dos impactos para a categoria ecotoxicidade em água doce (EAD), com resultado da avaliação de impacto de $3,19 \times 10^{+04}$ CTUe, que representa 86,31%, o principal contribuinte dentro da referida atividade é a alimentação animal com 86,14%. O diesel utilizado em maquinário agrícola é responsável por 9,50% dos impactos. Nessa categoria as mudas de laranja aparecem como terceiro fator mais impactante das atividades de entrada, representando 3,89% da contribuição.

Ben Abdallah et al. (2023) constata que a etapa de plantio, mais especificamente quanto aos fertilizantes, são os maiores contribuintes para a categoria de eutrofização de água doce, que resulta em valores de $2,06 \times 10^{-04}$ kg PO₄ P-lim. eq. Nesse sentido, os resultados para o sistema orgânico se direcionam para as mesmas conclusões do autor supramencionado, a fertilização por meio do esterco, contribui com praticamente a totalidade dos impactos, alcançando o valor de 99,88%.

A categoria de impacto toxicidade humana - cancerígena (TH), com valor de $1,50 \times 10^{-07}$ CTUh, tem como principais contribuintes o fertilizante, o diesel e as mudas, o primeiro contribui com 75,72%, o seguinte adiciona 19,58%, e por fim, a última entrada alcança 3,78%

da contribuição. Quanto à toxicidade humana – não-cancerígena (TH não-câncer) com resultado de impacto de $-6,62 \times 10^{-08}$ CTUh, todas as entradas têm contribuição negativa, ou seja, são ambientalmente benéficas. Exceto para o esterco bovino leiteiro, que contribui com 230,64% dos impactos.

Radiações ionizantes (RI) resultando em $6,21 \times 10^{+00}$ Bq C-14 eq. (87,88%), uso de recursos minerais (URM) resultando em $1,43 \times 10^{-02}$ kg *deprived* (78,17%), eutrofização marinha (EM) com valor de $4,06 \times 10^{-04}$ kg N N-lim eq. (93,96%), degradação da camada de ozônio (DMO) com $6,53 \times 10^{-08}$ (89,82%), formação de material particulado (FMP) resultando em $2,46 \times 10^{-06}$ kg PM_{2,5} eq. (92,31%), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) resultando em $1,31 \times 10^{-02}$ kg NMVOC eq. (69,62%), acidificação terrestre (AT) com valores de $1,06 \times 10^{-07}$ kg SO₂ eq. (93,67%), e, escassez de água (EA) resultando em $1,21 \times 10^{+02}$ m³ *world*-eq. (102,69%) tem como principal contribuinte o esterco, com valores de contribuição variando entre 69,62% a 102,69%. O último valor, para escassez de água (EA) supera 100% em virtude dos impactos com diesel e gasolina para operação agrícola, mudas, transporte do esterco e com o detergente comum terem valores negativos, resultando em contribuição para o ambiente. O diesel queimado em operação agrícola é a segunda entrada que mais contribui para as supramencionadas categorias, merece destaque na FOF, a qual o valor chega a 20,57%, e na URM com valor de contribuição de 13,85%.

As categorias de impacto ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT) com resultado de $7,40 \times 10^{+00}$ m² de terras aráveis eq.ano e transformação de terras - perda de biodiversidade (TT) com resultado de $-1.16 \times 10^{+00}$ m² de terras aráveis eq. são as quais o esterco deixa de ser o principal impactante dando lugar para o impacto direto do sistema produtivo, o qual gera valores de contribuição de 96,05% e 143,75% respectivamente. Isso é motivado pelo tipo de cultivo, como a propriedade produz, além de laranja, batata roxa, inhame, tomate, cebola, caqui, mandioca, abóbora, açafrão e gengibre que se caracteriza como um sistema multiprodutivo, contra hegemônico para as configurações de uso da terra atuais. A partir de uma perspectiva histórica, houve transformação no uso da terra, que em 1987 estava associado à pastagem. Nos anos 2000, com a consolidação do agronegócio, altera-se para modelos monocultores configurados pelo uso intensivo de recursos sintéticos (SANTOS et al., 2024). Em 2017 se constata que a destinação de terras para a agricultura monocultora passa a ter relevância na região, avançando sobre áreas de pastagens, reduzidas drasticamente, bem como sobre áreas de vegetação nativa, ao mesmo tempo que os locais de silvicultura apresentaram desagregação proporcionando novos fins como os orgânicos (SANTOS et al., 2024).

5.2.1.2.2. Avaliação de impacto de custeio do ciclo de vida

A Tabela 5 mostram os custos do produtor de laranja buriense. O produtor orgânico declarou não haver custo de transporte do esterco de bovino leiteiro, utilizado como fertilizante, desconsiderando esse valor. A colheita é realizada manualmente, com o auxílio de um colaborador da propriedade, excluindo-se os custos com aquisição de maquinário para esse fim.

A receita oriunda da produção de citrus é majoritariamente da mixirica, a qual representa 85,70% do faturamento. Laranja e limão representam 7,15% cada. Os valores foram obtidos a partir das informações questionadas ao produtor, bem como das notas fiscais de vendas demonstradas. Cada quilo de produto é comercializado pelo preço de US\$ 0,89 para laranja e limão, a mixirica possui preço de venda de US\$ 0,91.

A produção de laranja orgânica, tem como total de despesas de custeio, o valor de US\$ 170,4242, e a maior contribuição é para o subitem outros: embalagens/utensílios, análise de solo, demais despesas, a qual, está vinculada a despesas com manutenção do maquinário agrícola, correspondente a 66,07% do valor de custeio, proporcionando custo bruto anual de US\$ 112,5972. Na sequência, os custos que englobam outras despesas equivalem a US\$ 36,5373 anualmente, o principal componente desse subitem é a categoria contribuição especial para a seguridade social rural, representando 57,10% do custeio, com valor bruto de US\$ 20,8634. As despesas financeiras, mais especificamente quanto aos juros do financiamento soma US\$ 0,000, uma vez que não há custo por financiamento adquirido para a produção de laranja. O conjunto de custos: despesas do custeio, outras despesas e despesas financeiras formam os custos variáveis, os quais somados alcançam valor de US\$ 206,9616, o maior contribuinte para esse montante são as despesas de custeio representando 82,35% do total, outras despesas referem-se a 17,65% dos custos variáveis, as despesas financeiras têm contribuição de 0%.

Os custos fixos são formados pelas depreciações e outros custos fixos, no primeiro grupo de custos, temos a depreciação de benfeitorias/instalações como principal contribuinte, o valor bruto gerado é de US\$ 166,1372 que representa 90,73% do total dos custos para a referida subcategoria. Os outros custos fixos, são majoritariamente impactados pela manutenção periódica benfeitorias/instalações, correspondendo a 99,99% dos impactos desse custo, o qual gera valor bruto de US\$ 1.232,00. O conjunto dos custos fixos alcançam valor total de US\$ 1.415,7406, com as depreciações gerando uma contribuição de 12,93%, a partir do valor bruto de US\$ 183,1113. Enquanto os outros custos fixos contribuem com 87,07% do total, sob valor bruto de US\$ 1.232,6293.

O custo operacional, formado pelos custos fixos e variáveis, alcança valor de US\$ 1.622,7022. Com os primeiros contribuindo com 87,75%, ao passo que, os custos variáveis auxiliam com 12,75%. Para formar o custo total, é necessário acrescentar a renda dos fatores, que alcança valor de custeio da ordem de US\$ 1.086,9994. Esse valor é reflexo da contribuição da terra própria com custo de US\$ 1.084,9407, que corresponde a 99,81%. Portanto, o custo total é constituído pela soma dos custos operacionais com a renda dos fatores, proporcionando valor de US\$ 2.709,7016; nesse sentido, o primeiro contribui com 59,88%, por outro lado, a renda dos fatores representa 40,12%.

O principal contribuinte para os custos é sintetizado no custo de manutenção periódica benfeitorias/instalações, que é essencial para se manter um bem em bom estado de uso, assim como para prolongamento da sua vida útil. A prevenção e as medidas corretivas são riscos assumidos pelo proprietário e entendidas como parte do custo de oportunidade da unidade produtiva (CONAB, 2018). Nesse sentido, Batalha et al. (2021), expressam que a alocação de custos de manutenção deve ser tratada como um elemento estrutural da gestão financeira de uma propriedade agrícola. Da mesma forma, Garrison, Noreen e Brewer (2013), destacam que pequenos investimentos em manutenção preventiva podem reduzir drasticamente os custos de falhas internas e externas. O custo de manutenção periódica benfeitorias/instalações, é transmutado em custo de oportunidade, pois decisão de investir em manutenção periódica, é uma atitude proativa que proporciona um custo menor frente a ausência de manutenção adequada que pode gerar falhas inesperadas, exigindo reparos urgentes que geralmente são mais caros do que uma manutenção planejada (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013).

5.2.1.2.3. Avaliação de impacto social do ciclo de vida

A avaliação de impacto social do ciclo de vida envolve a parte interessada trabalhador, no entanto, dada as condições informadas na seção 5, mais especificamente o item 5.2.1.1.3., a avaliação de impacto foi realizada com base nas respostas obtidas junto ao empregador.

A subcategoria de impacto salário justo, possui os seguintes indicadores: trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno; presença de deduções suspeitas nos salários; e, pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal) e foi avaliada conforme a abordagem de escala de referência (ISO, 2024). A Tabela 7 demonstra os impactos alcançados.

Tabela 7 - impacto social: salário justo

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>

Salário justo	Trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno	+1 (salário maior a R\$ 1.550,00)	-1
		0 (salário igual a R\$ 1.550)	
		-1 (salário menor que R\$ 1.550,00 ou sem dados sobre salário do funcionário)	
	Presença de deduções suspeitas nos salários	+1 (nunca houve nenhuma dedução no salário do trabalhador)	-1
		0 (houve deduções no salário do trabalhador com justificativa legal)	
		-1 (houve deduções nos salários dos trabalhadores sem justificativa legal ou não soube informar se já houve dedução no salário do trabalhador)	
	Pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal)	+1 (Pagamento regular e registro em carteira)	-1
		0 (Pagamento regular sem registro em carteira)	
		-1 (Pagamento irregular, sem registro em carteira ou sem informações sobre a regularidade dos pagamentos e registro em carteira)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O empregado estrangeiro recebendo valor inferior ao salário-mínimo vigente no Estado de São Paulo em 2024, infringe a lei nº. 17.692 (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023) que estabelece valor de R\$ 1.550,00 como salário-mínimo. Uma vez que o proprietário informa que pagava valor de R\$ 1.400,00, além de benefícios complementares como moradia, avaliada em R\$ 500,00, cesta básica no valor de R\$ 150,00, internet, água, luz e legumes produzidos na propriedade. Ademais, o salário-mínimo estadual é considerado como indicador pois caso o ente da federação tenha instituído um salário-mínimo regional superior ao nacional, prevalece o salário-mínimo estadual, conforme o princípio de prevalência da norma mais favorável ao trabalhador (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Apesar dos benefícios adicionais, a ausência de registro em carteira infringe o art. 29 do decreto-lei nº. 5.452 (1943), que determina a obrigatoriedade do registro do trabalhador no prazo de até 48 horas após o início das atividades. Mesmo que o salário não tenha sofrido descontos diretos, a prática de não registro e a justificativa baseada na condição de estrangeiro não regularizado não é suficiente para isentar o empregador de suas obrigações legais.

Culminando em valor de -1 para o indicador trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno.

O indicador de impacto, presença de deduções suspeitas nos salários, alcança resultado de -1, pois foi identificado a intenção de realizar o desconto no 13º salário referente aos custos de transporte do trabalhador para o Brasil. Porém, descontos no salário só são permitidos se decorrentes de previsão legal, convenção coletiva ou consentimento expresso do trabalhador. No caso, a intenção de dedução não se enquadra em nenhuma dessas categorias, configurando uma prática irregular (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Adicionalmente, a cobrança dos custos relacionados à chegada ao país em combinação com a situação vulnerável do trabalhador estrangeiro sugere a existência de uma relação laboral de exploração.

Em igual sentido, o indicador pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal) obteve como resultado -1. A motivação consiste na ausência de registro em carteira e qualquer outra documentação que formalize a relação trabalhista infringe diretamente os art. 3 e 41 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), que define a caracterização do vínculo empregatício. O trabalhador não foi incluído no regime previdenciário ou em qualquer forma de proteção social. Embora o empregador tenha auxiliado para a obtenção do Registro Nacional Migratório e Cadastro de Pessoa Física, isso não substitui a obrigação de formalizar o vínculo trabalhista e garantir os direitos previstos na legislação brasileira. Portanto, de forma geral, para a subcategoria de impacto salário justo, a produção orgânica de Buri teve pontuação negativa em todos os indicadores, o que representa um grave impacto social.

A Tabela 8 evidencia as informações para a subcategoria de impacto hora de trabalho, que possui os indicadores: número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados; número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados; respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras; e, a organização oferece flexibilidade. Relatados abaixo.

Tabela 8 - impacto social: hora de trabalho

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>
Hora de trabalho	Número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados	+1 (40 horas semanais) 0 (44 horas semanais ou 240 horas mensais) -1 (240 horas mensais sem direito a uma folga remunerada no mês ou sem dados sobre as horas de trabalho dos funcionários)	0
	Número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados	+1 (Aproveita todos os feriados sejam municipais, estaduais ou	0

	federais além de comemorações de fim de ano)	
	0 (Aproveita somente as comemorações de fim de ano)	
	-1 (Não aproveita nenhum feriado ou comemoração de fim de ano ou sem dados sobre trabalho do funcionário em feriados e comemorações de fim de ano)	
Respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras	+1 (Realiza o previsto na legislação trabalhista proporcionando acordos benéficos aos funcionários sobre horas extras)	-1
	0 (Não há pagamento de horas extras, mas há banco de horas para descontar)	
	-1 (Não há pagamento de horas extras e banco de horas para descontar ou sem dados a respeito dos acordos contratuais referentes a hora extra)	
A organização oferece flexibilidade	+1 (A empresa rural fornece flexibilidade de trabalho, além de conceber alguns benefícios)	-1
	0 (A empresa rural fornece flexibilidade desde que devidamente justificado)	
	-1 (A empresa rural não oferece flexibilidade ou sem dados sobre a oferta de flexibilidade)	

Fonte: elaborado pelo autor.

Os indicadores número de horas efetivamente trabalhadas pelo empregado e número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados obtiveram pontuação de 0. Para o primeiro, o trabalhador desempenhou 8 horas diárias de segunda a sexta-feira e 4 horas aos sábados. Essa carga horária está dentro do limite de 44 horas semanais estabelecido pelo art. 58 da Consolidação das Leis Trabalhistas (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Para o número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados foi mencionado que não se trabalhava em feriados, o que está em conformidade com o art. 70 do decreto-lei n. 5.452 (1943), que determina o repouso obrigatório em feriados civis e religiosos.

Tanto indicador respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras como a organização oferece flexibilidade tiveram resultados com impacto social negativo, representado pelo valor -1. Nesse sentido, para o respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras, não há registros formais ou informações claras sobre o pagamento ou controle de horas extras. Com a ausência de documentação ou registro é violado o art. 59 da CLT (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), que exige acordo prévio para horas extras e pagamento adicional de 50% sobre a hora normal. Quanto ao indicador a organização oferece flexibilidade, o fato de exigir que o trabalhador compense as horas utilizadas para obter documentos é irregular. Contrariando o art. 67 da CLT, que garante o direito ao uso de tempo para questões pessoais ou burocráticas sem compensação forçada (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), o que gera um ônus ao trabalhador, desrespeitando os princípios de dignidade e equilíbrio nas relações de trabalho. Por fim, mesmo com o atendimento às questões legais em dois dos quatro indicadores, a pontuação negativa perpetua o grave impacto social da produção orgânica de Buri quanto às horas de trabalho.

A Tabela 9, evidenciada abaixo, traz luz a subcategoria trabalho forçado, constatando os resultados da abordagem de escala de referência para os indicadores: os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo; certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego; os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes; e, os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador.

Tabela 9 - impacto social: trabalho forçado

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>
Trabalho forçado	Os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo	+1 (Há anuência com os termos do emprego, cópia do contrato de trabalho consigo e negociação periódica sobre alterações nos termos do contrato)	-1
		0 (Há anuência com os termos do contrato de trabalho expressa)	

	-1 (Não há anuência expressa com os termos do trabalho ou sem dados sobre o contrato de trabalho)	
Certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego	+1 (Não há retenção de nenhum documento pessoal dos funcionários e há confecção de crachás ou itens de identificação pessoal) 0 (Não há retenção de documentos pessoais) -1 (Há retenção de documentos pessoais pela empresa por motivos de segurança ou sem dados sobre retenção de documentos pessoais pela empresa)	0
Os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes	+1 (Os trabalhadores podem pedir demissão e ter seus direitos por tempo de serviço resguardados) 0 (Os trabalhadores podem pedir demissão desde que cumpram o aviso prévio) -1 (Os trabalhadores não podem pedir demissão ou sem dados a respeito da possibilidade de pedido de demissão)	-1
Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador	+1 (Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas) 0 (Em caso de aquisição de dívidas devem pagá-las, sem a necessidade de permanecer no trabalho) -1 (Os trabalhadores estão vinculados em virtude de dívidas ou sem dados sobre a vinculação por dívidas)	-1

Fonte: elaborado pelo autor.

O indicador: os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo alcançou resultado igual a -1. Pois não foi realizado contrato de trabalho formal com o

funcionário, o que viola o artigo 29 da CLT (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), o qual expressa que o contrato de trabalho deve ser registrado em carteira dentro de 48 horas do início das atividades, detalhando condições como salário, carga horária e direitos. A ausência de contrato formal prejudica o trabalhador, impedindo o acesso a direitos básicos como 13º salário, férias, fundo de garantia por tempo de serviço e proteção social, deixando-o em situação vulnerável.

Para o indicador, certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego a pontuação obtida é igual a 0. Não houve retenção de documentos do trabalhador, pelo contrário, o empregador auxiliou o trabalhador estrangeiro na obtenção e regularização dos documentos, registro nacional migratório e cadastro de pessoa física. Estando em conformidade com a legislação trabalhista e migratória brasileira.

Analizando o indicador, os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes a pontuação foi de -1. Apesar de o trabalhador ter pedido demissão, havia uma relação de subordinação atrelada a uma dívida com o empregador, o que configura situação de vulnerabilidade econômica. Trazendo luz à legislação trabalhista nacional, no art. 483 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), é expresso que o trabalhador tem o direito de encerrar o contrato de trabalho sem qualquer tipo de coação ou impedimento. No entanto, a relação de trabalho estava baseada na quitação de dívidas relacionadas ao custo para a vinda até o Brasil comprometendo a autonomia do trabalhador. Embora o pedido de demissão tenha sido feito, a situação de dependência financeira configura vínculo de exploração, especialmente no caso de trabalhadores estrangeiros em condição vulnerável.

Mais adiante, quanto ao indicador: os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador, a pontuação é de -1. O trabalhador estava vinculado a uma dívida contraída com o empregador para pagar os custos da viagem da Venezuela ao Brasil, condicionando sua permanência ao pagamento dessa dívida de forma indireta, pois em nenhum momento houve menção explícita a essa condicionante, apenas era destacado o fato de o empregador ter pagado os custos da viagem. O art. 462 da CLT proíbe que empregadores descontem ou condicionem o vínculo empregatício ao pagamento de dívidas não previstas em lei, convenção coletiva ou autorização expressa do trabalhador (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Essa prática abre margem para interpretação da existência de uma forma de servidão por dívida, especialmente considerando que o trabalhador

era estrangeiro e dependia do empregador para regularização. De maneira ampla, os impactos sociais para a presente subcategoria foram graves, com a maioria resultando em valores negativos.

A Tabela 10 retrata a subcategoria saúde e segurança, englobando os indicadores, número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização; presença de regras referente à saúde e segurança; e, equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis.

Tabela 10 - impacto social: saúde e segurança

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>
Saúde e segurança	Número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização	+1 (Não há nenhum acidente fatal registrado pela empresa agrícola além de constante capacitação para uso dos equipamentos de proteção individual)	+1
		0 (Há acidentes registrados pela empresa agrícola, mas não foram fatais)	
		-1 (Há acidentes fatais registrados pela empresa ou sem dados sobre acidentes fatais ou lesões)	
	Presença de regras referente à saúde e segurança	+1 (Há regras e instruções para a saúde e segurança dos trabalhadores)	-1
		0 (Há regras para a segurança do trabalhador, mas sem instruções)	
		-1 (Não há regras para a saúde e segurança do trabalhador ou sem dados sobre regras referentes a saúde e segurança dos trabalhadores)	
	Equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis	+1 (Há equipamentos de proteção individual aos trabalhadores e instruções para uso)	0
		0 (Há equipamentos de proteção individual, mas seu uso não é exigido)	
		-1 (Não há equipamentos de proteção individual ou sem dados sobre equipamentos de proteção individual)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O indicador número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização alcançou +1 como resultado, pois não houve registro de acidentes de trabalho na propriedade agrícola. A ausência de acidentes reflete um ambiente de trabalho aparentemente seguro no que diz respeito à segurança, mas não exclui a obrigatoriedade de cumprimento das normas preventivas. Além disso, a Norma Regulamentadora nº. 1, menciona que mesmo sem a ocorrência de acidentes, a organização deve adotar medidas preventivas para a segurança e saúde dos trabalhadores, como treinamentos e avaliação de risco (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978).

Quanto ao indicador, presença de regras referente à saúde e segurança o valor alcançado foi de -1, uma vez que não existem regras ou instruções sistemáticas do empregador sobre segurança do trabalho, embora tenha havido orientações pontuais sobre o manuseio da roçadeira. O que implica diretamente na norma regulamentadora 1, a qual evidencia que o empregador é responsável por implementar um Sistema de Gestão de Segurança e Saúde no Trabalho, com regras claras para prevenção de acidentes e adoção de boas práticas; norma regulamentadora 7, que menciona que a falta de um Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional é uma falha, considerando que a roçadeira pode expor o trabalhador a riscos físicos e ergonômicos. E a norma regulamentadora 15, a qual expressa que atividades que envolvam esforços físicos intensos ou exposição a condições insalubres devem ser avaliadas e regulamentadas (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978). Com implicações pela ausência de regras formais e estruturadas, o que compromete a segurança do trabalhador.

O indicador equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis obteve como resultado o valor 0. Isso indica que houve fornecimento de Equipamentos de Proteção Individual, mas não relatado durante a entrevista se os equipamentos fornecidos eram adequados a todos os riscos identificados ou se havia supervisão para o uso correto. Correlacionando essas informações com as normas regulamentadoras se constata que a norma regulamentadora nº. 6 menciona que os equipamentos fornecidos devem ser adequados aos riscos identificados, em perfeito estado de conservação, e os trabalhadores devem ser treinados para utilizá-los. Em conjunto com a norma número 17, a qual expressa que caso o trabalho com a roçadeira envolva esforços repetitivos ou posturas inadequadas, deve-se fornecer medidas ergonômicas além dos EPIs. Portanto, mesmo com o fornecimento de EPIs, a falta de treinamentos mais amplos sobre o uso adequado e os riscos específicos indica um nível de conformidade parcial, o que reflete nos valores alcançados na subcategoria entre +1 e -1.

5.2.2. Produção orgânica de Itapetininga

5.2.2.1. Inventário do ciclo de vida

5.2.2.1.1. Inventário ambiental do ciclo de vida

A coleta de dados para a propriedade agrícola de Itapetininga proporcionou o inventário ambiental, disposto na Tabela 11.

Tabela 11 - inventário ambiental do produtor itapetiningano

Processos	Entradas	Valor bruto	Valor m²/ano	Valor hectare/ano	Unidade de medida
	Fluxos				
Plantio	Ocupação da terra	0,5000	0,0001	1	Hectare
	Transformação da terra	0,5000	0,0001	1	Hectare
	Muda	10	0,002	20,0000	Item
Manutenção do pomar	Esterco de gado	4.198,5	0,8397	8,397	Quilograma (kg)
	Esterco de gado (preparado Dinâmico)	0,120	0,000024	0,240	Quilograma (kg)
	Água (preparado Dinâmico)	100	0,775	7.775	Quilograma (kg)
	Pseudocaule de banana	12.000	2,4	24.000,0000	Quilograma (kg)
	Calcário	45	0,0009	90,000	Quilograma (kg)
	Yoorin (Óxido de fósforo - P ₂ O ₅)	45	0,0009	90,000	Quilograma (kg)
	Água (gotejamento)	104.000	20,8000	20.8000,0000	Quilograma (kg)
	Transporte de esterco de gado (trator)	0	0	0	Tonelada por quilometro (t*km)
	Trator (diesel)	174,1445	0,0734	352,2890	Mega Joule por ano
	Roçadeira costal (gasolina)	744,744	0,3103	3.103,1000	Mega Joule por ano
	Saídas				
Colheita	Laranja	1.000	0,2000	2.000,0000	Quilograma (kg)
	Resíduos deixados no solo (laranja)	120	0,0240	240,0000	Quilograma (kg)
Emissões para o ar	Óxido nitroso (N ₂ O)	0,0105	0,000002107023222857140	0,0211	Quilograma (kg)
	Dióxido de carbono (CO ₂)	-1.965	-0,3930	-3.930	Quilograma (kg)
	Resíduos deixados no solo	5,5789	0,0011	11,1578	Quilograma (kg)

Diferente do produtor anteriormente elucidado, a produção itapetiningana possui mais materiais de entrada, principalmente com vistas a fertilização, a qual utiliza além do esterco bovino, outros quatro elementos: calcário, óxido de fosfato, pseudocaule de banana e preparo dinâmico 500. E também é realizado o gotejamento na área de produção cítrica. As entradas iniciais do sistema são ocupação da terra, transformação da terra e mudas. A primeira possui valor de 0,0001 m²/ano, representando a área utilizada para o cultivo a partir da unidade funcional adotada no sistema. A transformação da terra tem valor igual ao processo anterior, e considera as intervenções para preparar o solo. As mudas têm como valor bruto de entrada de 150 unidades, divididas pelo tempo de vida para a geração de frutos, que gera valor de 0,002 por metro quadrado de área de produção.

A manutenção do pomar abrange um conjunto mais complexo de insumos como entrada. Por utilizar o Dinâmico 500 para fertilizar a área de produção, temos a entrada de esterco e água, os insumos para a referida entrada, com proporção de 120 gramas de esterco para 100 litros de água, que após diluídos são borrifados ao longo da área de plantio de laranja, aproximadamente 5 mil metros quadrados. Equalizado para a unidade funcional, o esterco representa valor de 0,000024 kg para 0,775 kg de água. Há a entrada do esterco propriamente dito, com valor bruto de 4.198,5 kg ao longo de um ano de produção, inseridos a partir de uma medida de 15 kg por pé de laranja, duas vezes ao ano, quando desdobrados para a unidade funcional temos o valor de 0,8397 kg. O calcário e o Yoorin (óxido de fósforo – P₂O₅) são utilizados para corrigir a acidez do solo e melhorar sua produtividade, no primeiro caso, e, reforçar os nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, no segundo caso; misturado junto ao esterco, sua aplicação corresponde a 150 gramas por pé, utilizados duas vezes ao ano, obtendo-se valor total de 45 kg para cada aditivo, quando reduzidos a área de produção corresponde a 0,009 kg cada. Outro fertilizante constatado é o pseudocaule de banana, o qual é inserido 80 kg por ano, representando 2,4 kg para a unidade funcional. Há a inserção de água por meio de um sistema de gotejamento, no qual é consumido o valor bruto de 104 mil kg na área de produção, obtendo-se o valor de 20,8 kg por metro quadrado. Os combustíveis do sistema de produção são diesel e gasolina, para o trator e roçadeira costal, respectivamente; com a queima de ambos gerando 176,1445 MJ/ano para o diesel, e 744,744 MJ/ano para a gasolina.

As saídas são quanto a laranja, os resíduos deixados no solo (laranja) e emissões para o ar. As laranja geradas pelo sistema alcançam valor de 1 mil kg, quando reduzidos a unidade

funcional temos valor de 0,200 kg. Os resíduos deixados no solo (laranja) são resultados de interferência, pois a partir de dados da literatura obteve-se o peso média de uma laranja em 160 g. (PETRY et al., 2012), o produtor mencionou que por pé são deixados 5 unidades de laranja no solo, gerando um montante de 750 unidades, que proporciona valor de 120 kg de resíduos, os quais, convertidos para a unidade funcional representam 0,0240 kg. As emissões para o ar, são configuradas quanto a aplicação dos fertilizantes orgânicos, representada como óxido nitroso (N₂O) que gera valor bruto de 0,0105 kg, convertidos a unidade funcional alcançam valor de 2,11x10⁻⁰⁶ kg. O dióxido de carbono para mudanças no uso da terra gera valor negativo, dessa forma, o valor bruto é de -1.965 kg, para a unidade funcional representa valor de -0,3930. As emissões para os resíduos deixados no solo para laranja geram valor de 120 kg, desdobrado na unidade funcional proporcionam valor de 0,0240 kg, quanto ao pseudocaule de banana temos valor bruto de 5,5789 kg, frente a unidade funcional esse valor é de 0,0011 kg. Quanto ao metano, foram desconsiderados os dados pelo fato do esterco ser misturado com serragem rica em carbono, que elimina sua formação (SILVA et al., 2024)

5.2.2.1.2. Inventário de custeio do ciclo de vida

O inventário de custeio do ciclo de vida, consolidado pelo produtor de Itapetininga, é demonstrado na Tabela 12.

Tabela 12 - custeio do ciclo de vida para a produção itapetiningana de laranja

<i>Tipo de custo</i>	<i>Detalhamento</i>	<i>Valores para a área de cultivo (US\$)</i>
Despesas do custeio	Operação com animal	0,0000
	Operação com avião	0,0000
	Operação com máquinas: tratores e colheitadeiras	9,1836
	Irrigação	74,1840
	Manutenção	0,3430
	Aluguel de máquinas	0,0000
	Aluguel de animais	0,0000
	Mão de obra	5,0627
	Administrador	0,0000
	Sementes e mudas	185,4599
	Fertilizantes	0,0000
	Agrotóxicos	0,0000
	Receita	-652,8190
	Outros: embalagens/utensílios, análise de solo, demais despesas	183,4812
	Serviços diversos	66,8676
Total das despesas de custeio (A)		-128,2370
Outras despesas	Transporte externo	222,5519
	Despesas administrativas	13,5119
	Despesas de armazenagem	0,0000
	Beneficiamento	0,0000
	Seguro da produção	0,0000
	Seguro do crédito	0,0000
	Assistência técnica	0,0000

	Classificação	0,0000
	Outros (certificado orgânico)	0,0000
	Contribuição especial para a seguridade social rural	811,3548
Total das outras despesas (B)		1.047,4187
Despesas financeiras	Juros do financiamento	0,0000
Total das despesas financeiras (C)		0,0000
Custo variável (A+B+C=D)		919,1816
Depreciações	Depreciação de benfeitorias/instalações	579,5159
	Depreciação de implementos	74,1840
	Depreciação de máquinas	14,4894
	Exaustão do cultivo	56,5805
Total das depreciações (E)		724,7698
Outros custos fixos	Manutenção periódica benfeitorias/instalações	1.309,0381
	Encargos sociais	0,0000
	Seguro do capital fixo	0,0566
	Arrendamento	0,0000
Total dos outros custos fixos (F)		1.309,0946
Custo fixo (E+F=G)		2.033,8644
Custo operacional (D+G=H)		2.953,0460
Renda de fatores	Remuneração esperada sobre o capital fixo	2,0916
	Remuneração esperada sobre o cultivo	2,2066
	Terra própria	2.893,1751
Total da renda de fatores		2.897,4733
TOTAL CUSTEIO		5.850,5194

Fonte: elaborado pelo autor.

As despesas de custeio se ramificam pelas operações com máquinas, mais especificamente quanto ao conjunto de irrigação, que engloba uma roda d'água e um reservatório tulipa, com a entrada de valor de US\$ 74,1840 ao ano. Tratores e colheitadeiras são outros conjuntos de custos, mas engloba somente o trator, com custo de entrada em US\$ 9,1836. A manutenção proporciona valor de US\$ 0,3430. A mão de obra tem valor de US\$ 5,0627 ao ano. As mudas geram custos de US\$ 185,4599 para a área destinada ao pomar ao longo do tempo de geração de frutos pelos pés. Nessa propriedade, os fertilizantes possuem origem nos animais da fazenda, logo, para essa subcategoria o valor é de US\$ 0,0000 para a área de produção. Por se tratar de uma produção orgânica, não há custos com agrotóxicos. A receita alcançada é de US\$ 652,8190, como é uma entrada, para a estruturação dos custos esse valor é negativo. Outros serviços, que inclui embalagens/utensílios e demais despesas proporcionam valor de US\$ 183,4812. Serviços diversos, completam os custos inerentes a despesas de custeio, alcançando valor de US\$ 66,8676. O total das despesas de custeio é de US\$ 524,5820, sem as receitas. Ao considerar o valor negativo das receitas, as despesas de custeio têm valor negativo em US\$ 128,2370, tornando as lucrativas ao possuir mais entradas do que saídas. Operação com animais e avião, aluguel de máquinas e animais, e, análise de solo não possuem custos, pois na propriedade itapetiningana não existe essas atividades.

Outras despesas, é o segundo conjunto de custos analisados, sendo auferido valor para transporte externo, da ordem de US\$ 222,5519. Despesas administrativas com US\$ 13,5119. E, contribuição especial para a seguridade social rural, no valor de US\$ 811,3548. Para os custos com despesas de armazenagem, beneficiamento, seguro da produção, seguro do crédito, assistência técnica, classificação e outros nenhum valor é atrelado, pois não existem esses custos na propriedade. Totalizando valor de US\$ 1.047,4187 para outras despesas. As despesas financeiras, quanto aos juros do financiamento alcançam valor de zero dólar, pois não existe nenhum financiamento para a produção.

Depreciações são constituídas pelos custos com benfeitorias/instalações no valor de US\$ 579,5159. A depreciação com implementos, relacionada a irrigação, proporciona custo de US\$ 74,1840. Para as máquinas, os custos com depreciações são de US\$ 14,4894. E a exaustão do cultivo alcança custos de US\$ 56,5805. A soma de cada subcategoria de custos com depreciações é de US\$ 724,7698.

Outros custos fixos se constituem por manutenção periódica benfeitorias/instalações com valor de US\$ 1.309,0381. Encargos sociais, possui valor de zero dólar, por não existir nenhum funcionário formalmente contratado. Seguro do capital fixo, é um custo atrelado ao risco assumido pelo proprietário, pois esse valor não existe de fato, mas é considerado em virtude da metodologia adotada, nesse sentido, o custo alcançado é de US\$ 0,0566. O arrendamento gerou custeio de zero dólar, por não existir área arrendada pelo proprietário. Esses valores totalizam US\$ 1.309,0946.

A renda de fatores é constituída pela remuneração esperada sobre o capital fixo, com valor de US\$ 2,0916. Remuneração esperada sobre o cultivo, com valor de custeio de US\$ 2,2066. A terra própria, com valor de US\$ 2.893,1751. Os quais formam os custos em US\$ 2.897,4733.

O custo variável, que envolve despesas de custeio, outras despesas e despesas financeiras, proporcionou valor de US\$ 919,1816. Os custos fixos são formados pela união entre depreciações e outros custos fixos proporcionando valor de custo de US\$ 2.033,8644. O custo operacional é constituído pela soma dos custos variáveis com os custos fixos proporcionando custeio de US\$ 2.953,0460. O custo total é formado pelo custo operacional mais a renda de fatores, gerando custeio no valor de US\$ 5.850,5194 para a produção de laranja itapetiningana.

5.2.2.1.3. Inventário social do ciclo de vida

O inventário social do ciclo de vida, assim como para o produtor buriense, foi realizado apenas com o proprietário da produção orgânica, haja visto, que não houve autorização para conversar com o funcionário da propriedade, não permitindo a aplicação junto ao trabalhador. E diferentemente do produtor anterior, na produção de Itapetininga há um funcionário na propriedade. O questionário foi aplicado integralmente, com triangulação das informações por meio de análise documental e observação sistemática da produção. Embora suas respostas fossem complexas, o tom das informações transmitia naturalidade, sem hesitações e demonstrando amplo domínio dos dados.

O primeiro conjunto de dados possui relação com salário justo, nesse sentido, engloba, trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno; presença de deduções suspeitas nos salários; e, pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal). Para trabalhador com menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno, o proprietário informou que realiza pagamentos semanais ao empregado, com dois dias de trabalho ao longo da semana, com valor pago por dia de trabalho de R\$ 150,00, ao longo de um mês são pagos R\$ 1.200,00. Quanto a presença de deduções suspeitas nos salários, foi mapeado a inexistência de desconto no salário do funcionário e ainda há oferta de moradia. No entanto, quanto ao registro em carteira, o proprietário informou não tê-lo feito, nos aprofundando um pouco mais, foi identificado que o referido empregado é filho de outro trabalhador que atua em uma propriedade diferente da família, esse último sim, possui vínculo empregatício. Quando questionado sobre esse tratamento diferenciado, o proprietário não soube responder.

O segundo grupo de perguntas envolve hora de trabalho, as quais procuram entender sobre o número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados, nesse sentido foi constatado que são 8 horas por dia trabalhado. O respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras proporcionou a informação de que existem acordos, pois os serviços prestados são ao longo de dois dias da semana, variando a partir da demanda os dias de trabalho, no entanto não existe hora extra ou banco de dados sobre as horas efetivamente trabalhadas. Com o relato anterior, foi possível constatar a existência de flexibilidade na organização, o último aspecto avaliado na presente subcategoria.

Trabalho forçado foi outra subcategoria avaliada por meio dos indicadores que envolvem os trabalhadores concordarem voluntariamente com os termos de emprego, os contratos de trabalho estipularem salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão, e os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo,

a informação obtida nesse indicador é a inexistência de contrato de trabalho. Para o indicador certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego foi relatado que não existe esse tipo de prática na propriedade agrícola. Quando procuramos entender se os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes o dado obtido evidencia que sim, a qualquer momento o empregado pode romper o vínculo empregatício. E, quanto aos trabalhadores não estarem vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador foi identificado que não existe nenhum tipo de dívida que vincule o trabalhador a propriedade agrícola.

Dando luz a subcategoria saúde e segurança, foi constatado no indicador número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização a existência de acidentes de trabalho durante a prestação de serviço, o caso em específico foi quando o trabalhador cortou a mão ao manusear uma faca. Por conseguinte, houve o levantamento de informações quanto presença de regras referente à saúde e segurança, obtendo-se a resposta de que existe orientações, mas não há a presença de regras quanto a saúde e segurança do trabalhador. E por fim, quanto ao indicador equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis, há o fornecimento dos itens necessários para a atuação na produção de laranja.

5.2.2.2. Avaliação de impacto do ciclo de vida

5.2.2.2.1. Avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida

Os valores absolutos dos impactos por categoria de impacto são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - resultados da avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida em Itapetininga

<i>Categoria de impacto</i>	<i>Resultado da avaliação de impacto</i>	<i>Unidade</i>
Mudança climática - longo prazo (MC (longo))	$5,36 \times 10^{-01}$	kg CO ₂ eq. (longo)
Mudança climática - curto prazo (MC (curto))	$1,26 \times 10^{+00}$	kg CO ₂ eq. (curto)
Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)	$1,38 \times 10^{+01}$	MJ privados
Acidificação de água doce (AAD)	$2,29 \times 10^{-14}$	MJ privados
Ecotoxicidade em água doce (EAD)	$1,76 \times 10^{+04}$	CTUe
Eutrofização de água doce (EuAD)	$1,27 \times 10^{-04}$	kg PO ₄ P-lim. eq.
Toxicidade humana - cancerígena (TH)	$7,43 \times 10^{-08}$	CTUh

Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer)	-7,62x10 ⁻⁰⁹	CTUh
Radiações ionizantes (RI)	3,53x10 ⁺⁰⁰	Bq C-14 eq.
Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT)	4,23x10 ⁺⁰⁰	m ² de terras aráveis eq.ano
Transformação de terras - perda de biodiversidade (TT)	-6,36x10 ⁻⁰¹	m ² de terras aráveis eq.
Eutrofização marinha (EM)	2,44x10 ⁻⁰⁴	kg N N-lim. eq.
Uso de recursos minerais (URM)	7,51x10 ⁻⁰³	kg privados
Degradação da camada de ozônio (DMO)	3,89x10 ⁻⁰⁸	kg CFC-11 eq.
Formação de material particulado (FMP)	1,45x10 ⁻⁰⁶	kg PM _{2.5} eq.
Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)	8,14x10 ⁻⁰³	kg NMVOC eq.
Acidificação terrestre (AT)	6,32x10 ⁻⁰⁸	kg SO ₂ eq.
Escassez de água (EA)	7,65x10 ⁺⁰¹	m ³ eq. mundial

Fonte: elaborado pelo autor.

Enfocando na mudança climática - longo prazo (MC longo), obtemos como resultado 5,36x10⁻⁰¹ kg de CO₂ eq., o que indica emissões de gases de efeito estufa com efeito prolongado, como dióxido de carbono proveniente de decomposição de matéria orgânica e uso de combustíveis fósseis em maquinário agrícola. O valor moderado evidencia que a produção orgânica mitiga parcialmente as emissões, mas ainda depende de processos que contribuem para o aquecimento global em escala secular. A mudança climática - curto prazo (MC curto), por seu lado, resultou em valor de 1,26x10⁺⁰⁰, emissões de gases de efeito estufa de curta duração, estão associados ao metano de decomposição anaeróbica em solos úmidos ou óxido nitroso de fertilizantes orgânicos, como o esterco. O valor mais alto que o de longo prazo reforça a necessidade de manejo adequado de resíduos e solo para evitar picos de emissões. O uso de energia fóssil e nuclear (UEFN) alcança valores de impacto potencial de 1,38x10⁺⁰¹ de MJ privados, o qual é o impacto mais significativo do sistema orgânico, indicando alta dependência de combustíveis fósseis. O que contradiz a expectativa de sustentabilidade da agricultura orgânica, evidenciando gargalos na integração com fontes renováveis.

A acidificação de água doce teve valores de 2,29x10⁻¹⁴ de MJ privados, os quais são praticamente insignificantes, indicando que a produção não libera substâncias acidificantes em corpos d'água, um resultado positivo, devido à ausência de fertilizantes sintéticos. A ecotoxicidade de água doce (EAD), por seu lado, tem um impacto crítico, com valor de 1,76x10⁺⁰⁴ CTUe, associado à contaminação por pesticidas orgânicos, metais pesados e lixiviação de substâncias tóxicas do solo, o principal contribuinte para esse valor é a produção de ácido cítrico, oriunda da ração proteica, a produção de ácido cítrico por fermentação pode

gerar efluentes contendo compostos orgânicos e inorgânicos quando não tratados adequadamente, contribui para a ecotoxicidade em ambientes aquáticos (MAGALHÃES et al., 2019). Além disso, subprodutos agrícolas ou industriais utilizados na alimentação animal podem conter resíduos de pesticidas e metais pesados, como cádmio e chumbo, que podem ser lixiviados para corpos d'água (CASELANI, 2015), sendo um reflexo direto da alimentação bovina, que dará origem ao esterco utilizado no sistema. A eutrofização de água doce (EuAD), teve resultado de $1,27 \times 10^{-4}$ kg PO₄ eq., o que representa valor muito baixo, sinalizando que a lixiviação de fósforo é bem controlada, graças à menor aplicação de fertilizantes sintéticos e manejo orgânico do solo, tido como um ponto forte do sistema.

A toxicidade humana – cancerígena (TH), obteve resultado de $7,43 \times 10^{-08}$ CTUh, evidenciando um risco extremamente baixo de câncer associado à produção, devido à ausência de agrotóxicos sintéticos e metais pesados, reforçando a segurança da produção para a saúde humana. A toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer), em seu turno, resultou em - $7,62 \times 10^{-09}$ CTUh, na qual, o valor negativo indica um benefício, em virtude da redução de poluentes no ambiente e práticas que melhoram a qualidade do ar e água, como ausência de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos, atrelados diretamente a produção orgânica. A radiação ionizante (RI), obteve valor moderado, em virtude do uso de combustíveis não renováveis dentro do sistema produtivo e do beneficiamento de rochas fosfatadas usadas para incrementar a fertilização com esterco bovino, com valor de $3,53 \times 10^{+00}$, não merecendo atenção especial.

A ocupação da terra (OT) teve resultado de $4,23 \times 10^{+00}$ m² de terras aráveis eq.ano, evidenciando pressão sobre o ecossistema devido à conversão de áreas naturais para cultivo, mesmo que para sistema orgânico, levando a necessidade de rotação de culturas para reduzir a pegada da terra (BARBIERI; PELLERIN; NESME, 2017), mas esse aspecto é parte do sistema produtivo, não considerado em virtude do limite do sistema. A transformação de terras (TT), obteve valor negativo de $-6,36 \times 10^{-01}$ m² de terras aráveis eq., um contraponto positivo à ocupação de terras (OT), o valor negativo indica recuperação parcial de áreas degradadas, devido a plantação de pés de laranja pelo sistema.

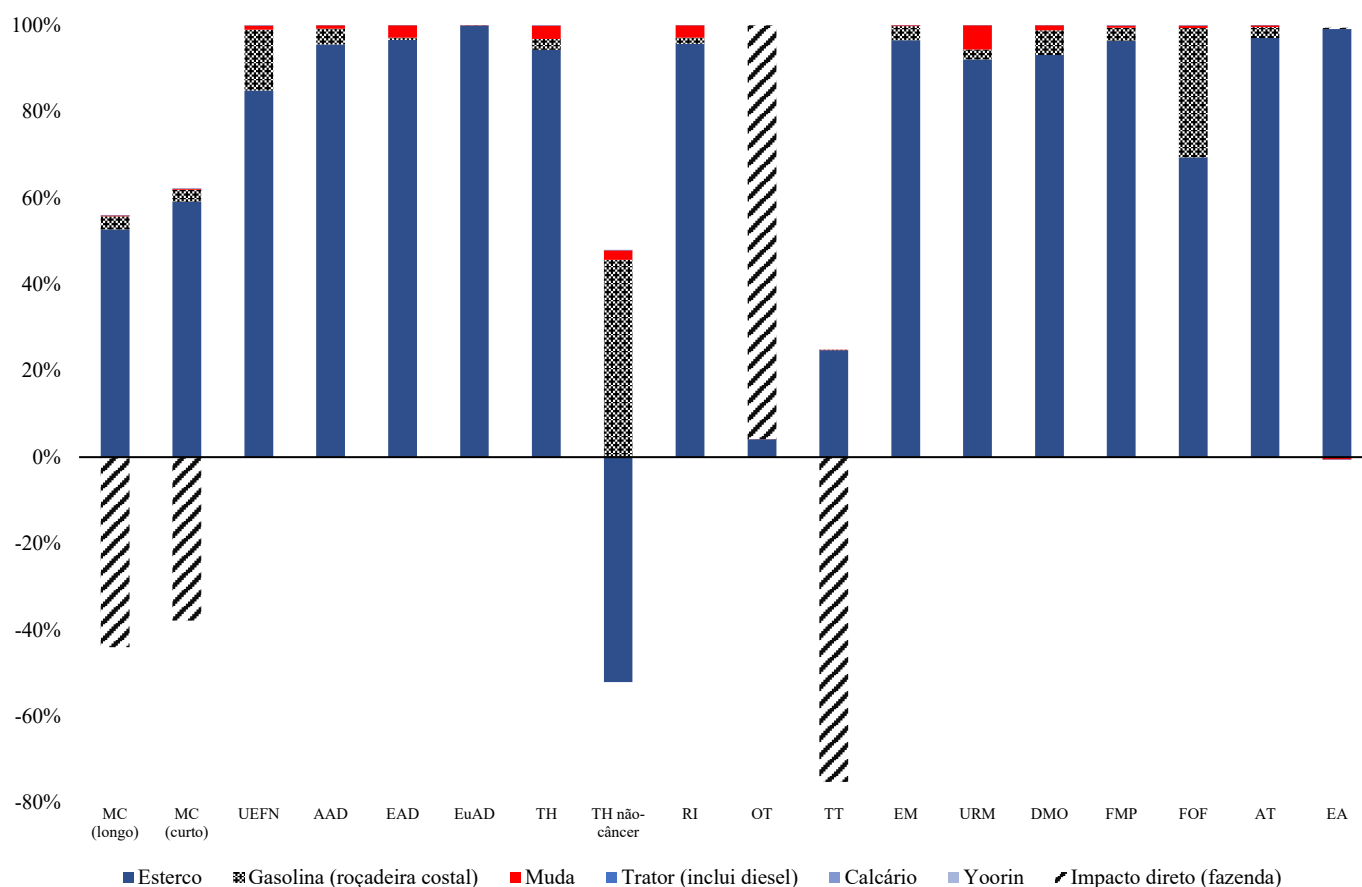
O resultado do impacto para a eutrofização marinha (EM) foi de $2,44 \times 10^{-04}$ kg N N-lim. eq., o que demonstra um o baixo impacto, evidenciando controle eficiente da lixiviação de nitrogênio para o mar, resultado alinhado com a menor dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos. O sistema orgânico tem uso de recursos minerais (URM) pautado na baixa quantidade, proporcionando um impacto irrelevante para o contexto geral, com valor de $7,51 \times 10^{-03}$ kg privados, como reflexo do maior uso de insumos orgânicos como rocha fosfática

e calcário. A degradação da camada de ozônio (DMO), alcançou valores insignificantes, de $3,89 \times 10^{-08}$ kg CFC-11 eq., pois o sistema não utiliza substâncias destruidoras da camada de ozônio, característica dos sistemas orgânicos de produção agrícola. Os impactos para a formação de material particulado (FMP), não representam riscos significativos à qualidade do ar, uma vez que o resultado foi de $1,45 \times 10^{-06}$ kg PM_{2.5} eq., o que configura emissões mínimas de partículas finas, vinculado ao maquinário agrícola.

O impacto para a formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) foi de $8,14 \times 10^{-03}$ kg NMVOC eq., indicando um resultado marginal, pois a baixa contribuição para a formação de ozônio ao nível do solo, evidencia controle de emissões de compostos orgânicos voláteis. A acidificação terrestre (AT), tem impactos potenciais praticamente inexistentes, refletindo a ausência de emissões acidificantes, pelo valor de $6,32 \times 10^{-08}$ kg SO₂ eq. alcançados. No entanto, escassez de água (EA) teve um impacto elevado de $7,65 \times 10^{+01}$ m³ eq. mundial, mesmo usando um sistema de gotejamento compreendido como menos impactante, o resultado persiste relevante em virtude da irrigação agrícola vinculada ao manejo animal, quando consideramos o ciclo de vida da produção do esterco bovino, identificamos um impacto significativo para a irrigação da lavoura atrelada a fonte de alimento do gado (MINHO et al., 2023).

Assim como para a produção buriense, a avaliação de impacto ambiental do ciclo de vida foi normalizada e demonstrada percentualmente pelo Gráfico 5 para a produção de 1 quilo de laranja. Ademais, o APÊNDICE 4 detalha as contribuições por entrada no sistema para cada categoria de impacto, em números absolutos. Vale destacar que não são considerados os valores de fixação de carbono biogênico pelas árvores, e os pseudocaulos de banana foram zerados, em virtude de ser um resíduo do sistema e possuir as mesmas entradas que a laranja, considerando as assertivas de Oliveira et al. (2021) para o critério de corte, compreende-se que há uma circularidade no sistema (EKVALL et al., 2020). A propriedade possui sistema de produção orgânica, desse modo, os dados de entradas foram agregados. Fazendo com que seja possível observar as contribuições de cada aspecto ambiental do sistema nas categorias de impacto avaliadas. De forma geral, observa-se que o fertilizante é o contribuinte mais significativo em quase todas as categorias de impacto com contribuição superior a 69,43%, exceto pelas categorias de toxicidade humana (não-cancer) e ocupação da terra (OT), na qual os combustíveis fósseis e as contribuições diretas do sistema têm resultados mais significativos.

Gráfico 5 - avaliação de impacto ambiental do produtor itapetiningano



Fonte: elaborado pelo autor.

A categoria de impacto mudança climática de longo prazo (MC longo) tem como principal contribuinte o fertilizante orgânico oriundo de gado, correspondendo a 438,77% da contribuição com as emissões potenciais dessa categoria, nos aprofundando mais, se constata que o manejo animal tem valor adicionado de 414,26%, mais especificamente quanto a alimentação, majoritariamente de soja, oriunda de monocultivo. A queima da gasolina na propriedade agrícola contribui com 24,88%, e as mudas contribuem com 2,23% nas emissões. Para o primeiro caso, a produção do petróleo é o aspecto que mais contribui com os impactos. Quanto às mudas o local de armazenamento proporciona as contribuições mais significativas. Os impactos são superiores a 100% em virtude da captura de dióxido de carbono pela mudança no uso da terra por meio da plantação de laranja com valor de $-1,96 \times 10^{+00}$ kg CO₂ eq (*long*) representando -365,93%. Mudança climática de curto prazo (MC curto), por seu lado, tem os principais contribuintes se ramificando em esterco bovino, queima de gasolina em propriedade agrícola, e, sementes. O primeiro contribui com 243,25%, enquanto a queima de gasolina em propriedade agrícola corresponde a 11,41%, as sementes alcançam valor de 1,02%. O impacto direto contribui com $-1,96 \times 10^{+00}$, equivalente a -155,70% do percentual total.

Para o uso de energia fóssil e nuclear (UEFN), o esterco bovino se mantém como contribuinte mais relevante na referida categoria de impacto, com valor de 84,89%, o manejo animal é a atividade que adiciona mais valor a contribuição do impacto pelo esterco com 76,89%. A utilização de combustível de origem fóssil na atividade agrícola vem em seguida, representada pela gasolina, com contribuição de 14,05%, e as sementes para a laranja contribuem com 1,03%. A acidificação de água doce (AAD) tem as contribuições de impacto ramificadas em: esterco bovino, queima de combustível fóssil, e sementes. O esterco bovino tem sua contribuição representando 95,85% dos impactos, ao passo que, as demais atividades de contribuição somadas culminam em valor inferior a 4,41%.

O esterco bovino leiteiro permanece como maior contribuinte dos impactos para a categoria ecotoxicidade em água doce (EAD), representando 96,59%, o principal contribuinte dentro da referida atividade é a alimentação animal com 96,40%. As mudas são detentoras de 2,89% da contribuição dos impactos. Nessa categoria, a queima de gasolina em atividade agrícola aparece como terceiro fator mais impactante das atividades de entrada, representando 0,51% da contribuição. A categoria de eutrofização de água doce (EuAD), tem a fertilização com esterco contribuindo com praticamente a totalidade dos impactos, alcançando o valor de 99,94%. A categoria de impacto toxicidade humana - cancerígena (TH), tem como principais contribuintes o fertilizante, as mudas e a queima de gasolina em maquinário agrícola, o primeiro com 94,32%, o seguinte adiciona 3,13%, e por fim, a última entrada alcança 2,53% da contribuição. A toxicidade humana – não-cancerígena (TH não-câncer) tem como principal contribuinte a queima de combustível fóssil com valor de 1.085,55%, seguido pelas sementes, com valor de 53,10%, e o calcário, alcançando 0,26%. No entanto, o resultado negativo obtido nesse aspecto, é reflexo do esterco bovino, que gerou valor de -1.253,22%, o que representa um benefício ambiental, que compensa os demais impactos dentro da categoria.

O esterco bovino permanece como principal contribuinte para as categorias, radiações ionizantes (RI) com valor de 95,69%; uso de recursos minerais (URM) resultando em 92,11%; eutrofização marinha (EM) com valor de 96,51%; degradação da camada de ozônio (DMO) com 93,13%; formação de material particulado (FMP) resultando em 96,41%; formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) resultando em 69,43%; acidificação terrestre (AT) com valores de 97,01%; e, escassez de água (EA) resultando em 100,29%. O último valor, para escassez de água (EA) supera 100% em virtude dos impactos com calcário (-0,02%), gasolina para operação agrícola (-0,18%) e mudas (-0,40%) terem valores negativos, resultando em contribuição para o ambiente.

A categoria de impacto ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT) tem como principal contribuinte os impactos diretos da fazenda, que representam 95,82%, na qual, a conversão de área de pastagem sofre alteração relevante em seu ecossistema, por meio da troca em pés de laranja. De maneira diversa, a transformação de terras - perda de biodiversidade (TT), tem no esterco seu principal impactante, com contribuição de 49,18%, no entanto, como o impacto direto do sistema produtivo é negativo, na ordem de -149,19%, mostra um ganho ambiental, motivado pela conversão de áreas de pastagens por vegetação com laranjeiras, as quais tem captação maior de carbono biogênico (SANTOS et al., 2024).

5.2.2.2.2. Avaliação de impacto do custeio do ciclo de vida

A produção de laranja orgânica itapetiningana, tem o valor global para as despesas de custeio na ordem de US\$ 524,5820. A contribuição mais relevante para a formação desse custo é o subitem sementes e mudas, a qual, foi comprada aproximadamente 1 mil unidades, das quais 150 são produtivas e tem sua produção divididas ao longo de 15 anos, representando 35,35% do valor de custeio, proporcionando custo bruto de US\$ 185,4599. Quanto a outras despesas, o custo total é de US\$ 1.047,4187, o principal componente dessa categoria é o subitem contribuição especial para a seguridade social rural, representando 77,46% do custeio, com custo bruto de US\$ 811,3548. As despesas financeiras são formadas pelos juros do financiamento, como seu valor é igual a zero dólar, não existe contribuição para essa categoria.

A depreciação gerou custo bruto de US\$ 724,7698, o principal contribuinte para esse montante é a depreciação de benfeitorias/instalações representando 79,96%. Para outros custos fixos, o subitem mais relevante com os impactos de custeio foi manutenção periódica benfeitorias/instalações correspondente a 99,99% do valor de US\$ 1.309,0946. As duas categorias formam os custos fixos. A renda de fatores vai contribuir para o custo total, o montante que essa categoria gera é da ordem de US\$ 2.897,4733, com a terra própria sendo responsável por 99,85% desse custo.

O custo operacional é formado pelos custos fixos e variáveis com valor total de custeio de US\$ 2.953,0460. A contribuição para a formação desse valor quanto ao custo fixo foi de 68,87%, por outro lado, os custos variáveis são responsáveis por 31,13%. Para formar o custo total, além do custo operacional, é necessário acrescentar a renda dos fatores, que alcança valor de custeio da ordem de US\$ 2.897,4733. Portanto, o custo total é constituído pela soma dos custos operacionais com a renda dos fatores, gerando custeio no valor de US\$ 5.850,5194; com

o custo operacional proporcionando contribuição de 50,47%, a renda dos fatores, por sua vez, representa 49,53%.

O principal contribuinte para os custos é a terra própria, que se refere à remuneração atribuída ao uso do solo que o produtor possui. Sua função de capturar o custo de oportunidade associado ao uso do solo, elemento que, incorporado aos cálculos de custo de produção, contribui para uma análise mais completa e integrada dos aspectos econômicos, ambientais e gerenciais das atividades agrícola. Nesse sentido, Ciroth et al. (2008), expressam que considerar todos os custos ao longo do ciclo de vida de um produto, incluindo aqueles que não geram desembolso imediato, mas que impactam a rentabilidade e a sustentabilidade do empreendimento, é uma ação relevante, assim, a inclusão da terra própria como custo de produção permite que uma visão integrada e realista do desempenho econômico da propriedade. Da mesma forma, Batalha et al. (2021), destacam que o custo da terra própria é crucial para a competitividade e eficiência dos processos produtivos, permitindo avaliar melhor as decisões de investimento, a utilização dos recursos e a viabilidade econômica dos empreendimentos rurais. Portanto, o reconhecimento de custos como o da terra própria é vital para a análise detalhada dos custos fixos e variáveis, permitindo uma avaliação mais precisa da lucratividade e auxiliando na tomada de decisões estratégicas (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013).

5.2.2.2.3. Avaliação de impacto social do ciclo de vida

A avaliação de impacto social do ciclo de vida envolve a parte interessada trabalhador, no entanto, dada as condições informadas na seção 5, no subitem 5.2.2.1.3., a avaliação de impacto foi realizada a partir das respostas obtidas junto ao empregador.

A subcategoria de impacto salário justo, visa qualificar o salário justamente e razoavelmente compatível com o valor de um serviço específico ou classe de serviço prestado, seus indicadores são formados por: trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno; presença de deduções suspeitas nos salários; e, pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal). Os valores obtidos são reflexo da aplicação da abordagem de escala de referência (ISO, 2024) para cada um desses indicadores evidenciados na Tabela 14.

Tabela 14 - impacto social: salário justo produção itapetiningana

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>
Salário justo	Trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-	+1 (Salário maior a R\$ 1.550,00)	+1
		0 (salário igual a R\$ 1.550)	

mínimo e/ou salário digno	-1 (Salário menor que R\$ 1.550,00 ou sem dados sobre salário do funcionário)	
Presença de deduções suspeitas nos salários	+1 (Nunca houve nenhuma dedução no salário do trabalhador) 0 (Houve deduções no salário do trabalhador com justificativa legal) -1 (Houve deduções nos salários dos trabalhadores sem justificativa legal ou não soube informar se já houve dedução no salário do trabalhador)	+1
Pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal)	+1 (Pagamento antecipado, regular e registro em carteira) 0 (Pagamento regular e registro em carteira) -1 (Pagamento irregular, sem registro em carteira ou sem informações sobre a regularidade dos pagamentos e registro em carteira)	-1

Fonte: elaborado pelo autor.

O salário-mínimo do Estado de São Paulo, atual é de R\$ 1.550,00 mensais (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023), considerando uma jornada integral de 44 horas semanais, cerca de 220 horas/mês. O trabalhador cumpre 2 dias de trabalho por semana. Considerando 8 horas diárias, isso daria 16 horas semanais. Comparando com as 44 horas de um regime integral, ele cumpre cerca de 36% da carga horária de um trabalhador em tempo integral. Se fosse pagar proporcionalmente ao salário-mínimo de 44 horas, 36% de R\$ 1.550,00 seria aproximadamente R\$ 558,00. Porém, o trabalhador recebe R\$ 1.200,00, que é superior ao valor proporcional do mínimo. Ainda que, em valores absolutos mensais, R\$ 1.200,00 seja ligeiramente inferior ao salário-mínimo integral, de R\$ 1.550,00, é acima do proporcional para a carga horária reduzida. Logo, quanto ao indicador trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno, não há indício de sub-remuneração em relação ao mínimo estadual, considerando a jornada parcial. Sob a ótica de salário digno, o valor-hora é alto em comparação ao mínimo legal. Gerando resultado igual a +1 para o referido indicador.

Evidenciando o indicador presença de deduções suspeitas nos salários, é constatado que não há qualquer desconto no salário do funcionário. O empregador ainda oferece moradia, que, conforme a CLT, em seus artigos 82 a 88 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), pode ou

não ser considerada salário. Neste caso, não foi indicado que a provisão de moradia resulte em algum desconto ou seja usado para compensar parte do salário. Não foram encontradas deduções suspeitas. Portanto, quanto à legislação trabalhista não há nenhuma irregularidade nesse quesito. Proporcionando valor de +1.

O pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal) e registro em carteira possui valor de -1 para análise de impacto. Pois, o pagamento é relatado como semanal, mas não há registro em carteira. Pela CLT, em seu artigo 29 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), todo empregado deve ter suas anotações, quanto a formalização do trabalho, feitas na carteira de trabalho e previdência social dentro de até 48 horas após a admissão, indicando data de início da atividade e remuneração, por exemplo. A ausência de registro em carteira constitui uma irregularidade trabalhista, contribuindo para o valor negativo da avaliação. Mesmo em regimes de trabalho parcial, a formalização é obrigatória. Não atendendo ao decreto-lei n.º 5.452 (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Mesmo com o pagamento regular, não há a documentação formal nos termos da legislação trabalhista, ou seja, não há vínculo reconhecido, FGTS recolhido, nem INSS, impactando negativamente para os direitos trabalhistas do empregado. De modo geral, a produção orgânica de Itapetininga possui mais pontos positivos do que negativos, totalizando três pontos positivos e um negativo, quanto a presente subcategoria, no entanto, o fato de não registrar em carteira, faz com que esse impacto negativo seja relevante pois se desdobra em outros aspectos da vida do trabalhador, como seguridade social e aposentadoria.

A subcategoria hora de trabalho, é formada pelos indicadores número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados; número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados; respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras; e, a organização oferece flexibilidade, os quais são avaliados pela Tabela 15.

Tabela 15 - impacto social: hora de trabalho produção itapetiningana

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>
Hora de trabalho	Número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados	+1 (40 horas semanais)	+1
		0 (44 horas semanais ou 240 horas mensais)	
		-1 (240 horas mensais sem direito a uma folga remunerada no mês ou sem dados sobre as horas de trabalho dos funcionários)	
		+1 (Aproveita todos os feriados sejam municipais, estaduais ou federais além de	

Número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados	comemorações de fim de ano)	
	0 (Aproveita somente as comemorações de fim de ano)	
	-1 (Não aproveita nenhum feriado ou comemoração de fim de ano ou sem dados sobre trabalho do funcionário em feriados e comemorações de fim de ano)	
Respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras	+1 (Realiza o previsto na legislação trabalhista proporcionando acordos benéficos aos funcionários sobre horas extras)	-1
	0 (Não há pagamento de horas extras, mas há banco de horas para descontar)	
	-1 (Não há pagamento de horas extras e banco de horas para descontar ou sem dados a respeito dos acordos contratuais referentes a hora extra)	
A organização oferece flexibilidade	+1 (A empresa rural fornece flexibilidade de trabalho, além de conceber alguns benefícios)	0
	0 (A empresa rural fornece flexibilidade desde que devidamente justificado)	
	-1 (A empresa rural não oferece flexibilidade ou sem dados sobre a oferta de flexibilidade)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O número de horas efetivamente trabalhadas permitiu identificar que são 8 horas por dia de trabalho. A Consolidação das Leis do Trabalho prevê que a jornada padrão seja de até 8 horas diárias e 44 horas semanais, salvo convenções ou acordos coletivos que estipulem outras formas de compensação ou jornada parcial (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). As condições identificadas para o presente indicador estão de acordo com a legislação trabalhista. Porém, neste caso, o empregado executa suas atividades somente 2 dias na semana, o que reduz consideravelmente a carga semanal total. Na prática, a jornada está abaixo do limite máximo semanal e não há evidência de excesso de horas. Qualificando as condições de trabalho quanto a horas de trabalho, acima do previsto em lei, pelo fato de não haver extrapolação de horas e,

adicionalmente, ser uma jornada semanal menor do que a normalmente praticada, de 44 horas. Nesse sentido, a situação se mostra melhor que o padrão legal, pois não há sobrecarga, alcançando valor igual a +1.

Quanto ao número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados, a legislação prevê o direito a repouso em feriados oficiais, salvo convenções em contrário, situações de escala ou necessidade imperiosa de serviço. Em caso de trabalho em feriados, deve haver compensação ou pagamento em dobro (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). E a constatação foi de que o empregador não demanda trabalho em feriados, garantindo o descanso desses dias. Nesse sentido, há observância clara do direito de repouso em feriados. O cenário é até mais favorável ao empregado do que a prática comum, configurando um cenário melhor do previsto em lei, pois cumpre a legislação ao conceder descanso, e o faz sem demandar compensação em outro dia nem exigir trabalho extraordinário em datas que, comumente, podem ser trabalhadas mediante pagamento adicional. O valor gerado é de +1.

O respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras, é o indicador que alcança a pior avaliação, isso acontece porque existem acordos em tese, pois o trabalho acontece em 2 dias na semana, variando conforme demanda. Mas não há registro oficial de horas extras nem banco de dados sobre as horas efetivamente trabalhadas. Também não foram identificados pagamento ou controle específico de horas além das 8 horas por dia de trabalho. Quando defrontamos essas informações com a legislação trabalhista, é constatado a exigência de controle de jornada para apuração de eventuais horas extras (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). A ausência de registro efetivo das horas trabalhadas, sejam extras ou não, dificulta a comprovação do respeito aos acordos contratuais. Ainda que o volume de horas extras seja inexistente, não há um sistema formal que comprove, de fato, o controle de jornada. Como não existe nenhum controle documentado ou sistematizado, o cenário é -1, pois não atende à legislação ou não há informações suficientes para comprovar cumprimento.

A organização oferece flexibilidade, alcançou a classificação de 0, conforme a legislação. Uma vez que existe flexibilidade quanto aos dias de trabalho, variando conforme a demanda. A CLT não impede a adoção de horários flexíveis, desde que respeitados os direitos básicos do trabalhador (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), existir flexibilidade é positivo para conciliar necessidades pessoais do empregado e oscilações de demanda do empregador. O simples fato de oferecer flexibilidade não ultrapassa exigências legais, e não se configurou como descumprimento, pois não há evidência de excessos. Dessa forma, a subcategoria obteve dois resultados positivos, um neutro e outro negativo, o que pode ser

compreendido como positivo ao trabalhador, mas que merece atenção quanto aos registros das informações de jornada de trabalho.

A subcategoria trabalho forçado é constatada na Tabela 16, e o impacto social mais significativo é quanto à ausência de contrato de trabalho, pois a legislação brasileira exige registro em carteira e/ou contrato escrito com os termos de emprego.

Tabela 16 - impacto social trabalho forçado na produção itapetiningana

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>
Trabalho forçado	Os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo	+1 (Há anuência com os termos do emprego, cópia do contrato de trabalho consigo e negociação periódica sobre alterações nos termos do contrato)	-1
		0 (Há anuência com os termos do contrato de trabalho expressa)	
		-1 (Não há anuência expressa com os termos do trabalho ou sem dados sobre o contrato de trabalho)	
	Certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego	+1 (Não há retenção de nenhum documento pessoal dos funcionários e há confecção de crachás ou itens de identificação pessoal)	0
		0 (Não há retenção de documentos pessoais)	
		-1 (Há retenção de documentos pessoais pela empresa por motivos de segurança ou sem dados sobre retenção de documentos pessoais pela empresa)	
	Os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes	+1 (Os trabalhadores podem pedir demissão e ter seus direitos por tempo de serviço resguardados)	0
		0 (Os trabalhadores podem pedir demissão desde que cumpram o aviso prévio)	
		-1 (Os trabalhadores não podem pedir demissão ou sem dados a respeito da possibilidade de pedido de demissão)	

Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador	+1 (Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas)	0
	0 (Em caso de aquisição de dívidas devem pagá-las, sem a necessidade de permanecer no trabalho)	
	-1 (Os trabalhadores estão vinculados em virtude de dívidas ou sem dados sobre a vinculação por dívidas)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O indicador os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo constatou a inexistência de contrato de trabalho. No entanto a legislação do trabalho exige, no mínimo, o registro em carteira, conforme artigo 29, e, quando aplicável, contratos escritos com cláusulas claras sobre salário, jornada, férias e demais condições de trabalho (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Não haver nenhum tipo de contrato formal ou registro configura descumprimento das regras trabalhistas, pois o empregado fica sem garantias básicas. Logo, não há documentação que comprove a concordância formal e voluntária nos termos da lei, o que acarreta a avaliação em -1.

Para o indicador certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego gerou o dado de que não há retenção de documentos pelo empregador. A CLT proíbe a retenção de documentos pessoais do trabalhador como forma de garantia ou penhor, algo característico de trabalho análogo a escravidão (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943), nesse sentido, não reter documentos é o previsto em lei e evita qualquer indício de coerção. Evidenciando que a relação de trabalho, nesse quesito, não apresenta irregularidades. Proporcionando avaliação igual a 0.

Os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes, é o terceiro indicador da subcategoria, o qual obteve a informação de que a qualquer momento o empregado pode romper o vínculo empregatício. A legislação brasileira permite, em seu artigo 487, que o trabalhador peça demissão, mas exige cumprimento de aviso prévio ou acerto (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). O fato de o empregado poder sair quando quiser, sem imposição de condições ou sanções indevidas, indica conformidade com o básico, não existindo cerceamento de liberdade. Do ponto de vista da escala de referência, permitir a livre

rescisão é conforme a legislação. Não configura algo acima do exigido, pois já é um direito legal mínimo do empregado. Logo, a avaliação é igual a 0.

Enfatizando o indicador os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador é constatado que não existe nenhum tipo de dívida que vincule o trabalhador à propriedade agrícola. Do ponto de vista legal, é proibido qualquer forma de servidão por dívida ou vínculo forçado (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). A inexistência de dívidas ou adiantamentos abusivos que subordinem o empregado a não poder deixar o emprego é exatamente o que a lei exige para afastar qualquer hipótese de trabalho forçado. Resultando em avaliação igual a 0, por se tratar do previsto em lei. Na quase totalidade dos indicadores o proprietário realiza o previsto em lei, exceto pelo primeiro indicador, onde é obtido valor negativo, constatando um impacto grave ao trabalhador.

A seguir apresenta-se a avaliação de impacto para a subcategoria saúde e segurança, por meio da Tabela 17.

Tabela 17 - impacto social: saúde e segurança produção itapetiningana

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicador</i>	<i>Escala de referência</i>	<i>Resultado</i>
Saúde e segurança	Número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização	+1 (Não há nenhum acidente fatal registrado pela empresa agrícola além de constante capacitação para uso dos equipamentos de proteção individual)	0
		0 (Há acidentes registrados pela empresa agrícola, mas não foram fatais)	
		-1 (Há acidentes fatais registrados pela empresa ou sem dados sobre acidentes fatais ou lesões)	
	Presença de regras referente à saúde e segurança	+1 (Há regras e instruções para a saúde e segurança dos trabalhadores)	-1
		0 (Há regras para a segurança do trabalhador, mas sem instruções)	
		-1 (Não há regras para a saúde e segurança do trabalhador ou sem dados sobre regras referentes a saúde e segurança dos trabalhadores)	
	Equipamento de proteção apropriado exigido em	+1 (Há equipamentos de proteção individual aos	0

todas as situações aplicáveis	trabalhadores e instruções para uso)	
	0 (Há equipamentos de proteção individual, mas seu uso não é exigido)	
	-1 (Não há equipamentos de proteção individual ou sem dados sobre equipamentos de proteção individual)	

Fonte: elaborado pelo autor.

O número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização é um indicador avaliado, o qual gerou a informação de que houve um acidente de trabalho em que o funcionário cortou a mão ao manusear uma faca. Nesse sentido, o acidente relatado não foi fatal. A existência de um acidente, por si só, não significa descumprimento da lei, pois infortúnios podem ocorrer. Todavia, é fundamental que a empresa agrícola registre oficialmente o acidente e investigue as causas, adotando medidas de prevenção (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978). A avaliação para essa subcategoria é igual a 0, pois quanto a fatalidades, a situação está dentro do cenário esperado, ou seja, sem óbitos. Ainda assim, requer atenção para correções preventivas.

Avaliando o indicador presença de regras referente à saúde e segurança, constatamos resultado de -1, uma vez que existe apenas orientações, mas não há a presença de regras formais quanto à saúde e segurança do trabalhador. Ademais, quanto aos aspectos normativos, a norma regulamentadora nº. 1 e a norma regulamentadora nº. 21, exigem procedimentos, treinamentos e regras claras de segurança adequadas às atividades exercidas (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978). Limitar-se a orientações esporádicas, sem formalização, implica lacunas de conformidade. Nesse sentido, a legislação requer instruções e regras documentadas, na forma de programas, regulamentos internos ou treinamentos oficiais, o que não é atendido na produção analisada.

O indicador equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis, permite aferir que há fornecimento dos itens básicos necessários para a atuação na produção de laranja. Desse modo, quanto às normativas que regulamentam essa questão, a norma regulamentadora nº. 6 determina a obrigatoriedade de fornecer equipamentos de proteção individual adequados ao risco, sem custo ao trabalhador, e exigir seu uso (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 1978). O fato de o produtor agrícola estar fornecendo os equipamentos de proteção individual básicos atende ao patamar mínimo legal. Não houve constatação de algo além da exigência legal, bem como, não houve omissão no fornecimento. Gerando pontuação igual a 0 para o indicador em questão. De modo geral, a subcategoria está

dentro do previsto em lei, com exceção da subcategoria presença de regras referente à saúde e segurança, a qual possui valor negativo, ou seja, impacto grave ao trabalhador.

6. INTERPRETAÇÃO

6.1. Análise de pontos críticos (*hotspot*)

6.1.1. Avaliação ambiental do ciclo de vida

Em ambos os produtores, o esterco bovino aparece como contribuinte mais relevante, sendo o principal impactante para a produção de Buri em 16 das 18 categorias analisadas, as quais são: mudança climática - longo prazo, mudança climática - curto prazo, uso de energia fóssil e nuclear, acidificação de água doce, ecotoxicidade em água doce, eutrofização de água doce, toxicidade humana - cancerígena, radiações ionizantes, ocupação de terras - perda de biodiversidade, eutrofização marinha, uso de recursos minerais, degradação da camada de ozônio, formação de material particulado, formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação terrestre, e, escassez de água. Para a produção de Itapetininga, o cenário permanece o mesmo, nesse caso também a referida entrada é a principal impactante em 16 categorias, as mesmas da produção de Buri, exceto para toxicidade humana - não-cancerígena e ocupação de terras - perda de biodiversidade.

Nos aprofundando nas nuances dos pontos críticos identificados no sistema, fica evidente que o núcleo dos impactos está associado ao esterco bovino. Nesse sentido, a decomposição anaeróbica do esterco bovino emite metano, com potencial de aquecimento global de 28 a 36 vezes maior que o dióxido de carbono; e, óxido nitroso, 265 vezes maior que o dióxido de carbono (RIVERA; CHARÁ, 2021). O que indica a relevância em categorias como mudanças climáticas de longo e curto prazo, com contribuição no sistema itapetiningano de 438,77% e 414,26%, respectivamente. O fósforo presente no esterco é o principal responsável pela eutrofização de água doce, onde o esterco corresponde a 99,88% das contribuições para a produção de Buri, indicando aplicação excessiva.

A alta contribuição para a toxicidade humana – não cancerígena de 58,36% da queima de gasolina em operação agrícola, está ligada à liberação de amônia durante a decomposição do esterco, que reage com poluentes atmosféricos para formar partículas finas (PM_{2,5}), na produção buriense, mas esse valor é mitigado pelos impactos direto da propriedade agrícola. O impacto alto da queima de gasolina na propriedade agrícola para a categoria de impacto de toxicidade

humana – não cancerígena de 1.085,55%, para a produção de Itapetininga, reflete sinergias entre emissões de maquinário usado para a poda dos pés de laranja e compostos voláteis do esterco, mas também é compensado pelo impacto direto da fazenda, tornando o valor em ambas as produções negativo para a referida categoria de impacto.

Ademais, as diferentes estratégias de aplicação do esterco resultam em impactos distintos para a escassez hídrica, por exemplo. No caso buriense, o transporte de esterco por caminhões, aumenta a escassez hídrica devido ao consumo de água indireto para refino do diesel. A produção itapetiningana, por seu lado, com a adição de calcário, para corrigir acidez do solo, e fertilizante organomineral, reduz a dependência do esterco puro, melhorando a eficiência nutricional. Consequentemente, a produção itapetiningana tem uma redução de 36,70% na referida categoria de impacto, enquanto Buri obteve $1,21 \times 10^{+02} \text{ m}^3 \text{ eq. mundial}$, Itapetininga gerou $7,65 \times 10^{+01} \text{ m}^3 \text{ eq. mundial}$, devido à aplicação mais precisa do esterco. Portanto, o esterco bovino, ponto crítico comum nas duas produções, é manejado com diferentes estratégias que divergem significativamente. Enquanto a produção de Buri carece de práticas para a redução do uso de esterco, a produção de Itapetininga demonstra progresso com a integração de calcário e fertilizantes organominerais, o que reduz o uso do esterco puro, ainda que enfrente desafios com a toxicidade da gasolina, amplamente usada na poda das árvores. Ambas se beneficiam de uma abordagem circular, onde o esterco não é visto como resíduo, mas como recurso para fertilização do solo (SADEGHPOUR; AFSHAR, 2024).

No entanto, essa prática camufla os impactos de um sistema produtivo mais amplo, nesse sentido, Ramankutty et al. (2008) vai proporcionar luz a esse aspecto, pois os autores destacam que aproximadamente 40% da superfície terrestre livre de gelo já foi convertida para a produção agrícola, sendo que 22% dessas terras são usadas para pastagens destinadas à criação de gado. Essa expansão, frequentemente às custas de florestas tropicais e ecossistemas biodiversos, contribui para emissões significativas de dióxido de carbono e impactos negativos sobre os recursos hídricos e a qualidade do solo. O uso de esterco bovino como fertilizante, na verdade, cria uma interdependência entre produção orgânica e a pecuária. Embora essa prática pareça promover um ciclo fechado de nutrientes, ela reflete a continuidade de um modelo agrícola que, em escala global, tem se mostrado insustentável. Como destacado por Poore e Nemecek (2018), a pecuária, que inclui a pecuária leiteira, é um dos setores mais impactantes para o meio ambiente, sendo responsável por emitir $3,20 \times 10^{+00} \text{ kg de CO}_2 \text{ por litro de leite}$, contribuindo para a emissão de gases de efeito estufa, acidificação do solo também tem contribuição do manejo de gado leiteiro, na qual, são emitidos $1,10 \times 10^{+00} \text{ g de SO}_2 \text{ eq. por litro}$

de leite, devido ao manejo de esterco e à emissão de amônia. A eutrofização dos corpos d'água, em igual sentido, é reflexo da produção leiteira, na qual, $8,90 \times 10^{+00}$ g de $\text{PO}_4^{3-}\text{eq.}$ são emitidos por litro, como resultado do escoamento de fertilizantes e dejetos animais, contribuindo para a poluição de rios e lagos.

A adoção do esterco bovino na citricultura orgânica pode ser vista como uma tentativa de aproveitar um subproduto da pecuária, reduzindo a dependência de fertilizantes sintéticos. No entanto, essa abordagem perpetua a necessidade de extensas áreas de pastagem e a manutenção de grandes rebanhos, cuja pegada ecológica inclui desmatamento, uso excessivo de água e degradação do solo (POORE; NEMECEK, 2018). Além disso, a conversão de esterco em fertilizante não elimina os impactos da pecuária sobre o clima global, pois a produção de gado continua sendo uma das maiores fontes de metano, um gás com potencial de aquecimento global muito superior ao dióxido de carbono (GENRO; LARA; LAMPERTI, 2023). A questão central é que, embora o uso do esterco bovino possa ser benéfico do ponto de vista agrônômico e até econômico, ele não rompe com a lógica de um sistema agrícola insustentável. Ao depender de uma atividade agropecuária altamente intensiva em recursos e emissora de poluentes, a citricultura orgânica em Buri e Itapetininga, ao invés de oferecer uma solução sustentável, mantém um ciclo produtivo que, em sua origem, é prejudicial ao meio ambiente.

Para que a produção orgânica de laranja contribua efetivamente para um modelo agrícola mais sustentável, é fundamental reduzir sua dependência da pecuária intensiva. Uma alternativa promissora é a adoção da compostagem de resíduos vegetais, prática que transforma resíduos orgânicos em adubo rico em nutrientes, melhorando a fertilidade do solo e reduzindo a necessidade de fertilizantes sintéticos (BOTELHO et al., 2020). Segundo Oueld Lhaj et al. (2024), essa técnica aumenta significativamente a eficiência na reciclagem de resíduos, contribuindo diretamente para a sustentabilidade agrícola e a conservação ambiental. A diversificação das fontes de fertilizantes orgânicos, incluindo o uso integrado de adubos verdes e compostagem de resíduos orgânicos, é destacado no Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (SILVA et al., 2023), como essencial para reduzir a dependência dos fertilizantes químicos importados e aumentar a resiliência do sistema produtivo agrícola. A implementação conjunta dessas práticas não apenas reduz a dependência da pecuária intensiva, mas também fortalece um sistema agrícola mais sustentável e ambientalmente responsável no longo prazo.

6.1.2. Custeio do ciclo de vida

O ponto crítico mais significativo para os produtores orgânicos de Buri e Itapetininga é a elevada participação de custos fixos, principalmente associados à manutenção periódica de benfeitorias/instalações e ao custo de oportunidade da terra própria. Esses custos representam uma parcela estrutural dos gastos totais, comprometendo a rentabilidade e a sustentabilidade econômica das operações, especialmente em sistemas de pequena escala e sem financiamento externo.

Os custos fixos como manutenção periódica benfeitorias/instalações evidencia uma pressão financeira, pois em Buri representa 99,99% dos outros custos fixos, com valor de custeio total em US\$ 1.232,5359. Reverberando em 87,06% dos custos fixos totais. Em Itapetininga, a constatação é a mesma, 99,99% dos outros custos fixos, com montante de US\$ 1.309,0946 são formados pela manutenção de benfeitorias/instalações, os quais, representam 64,36% dos custos fixos totais. Segundo Garrison, Noreen e Brewer (2013), custos fixos elevados exigem alta escala de produção para diluição dos valores, um desafio em sistemas orgânicos, que frequentemente operam em nichos de mercado restritos. Batalha et al. (2021) reforçam que a falta de eficiência na alocação desses custos pode inviabilizar operações, especialmente quando há dependência de recursos próprios, que é o caso constatado, evidenciado pela ausência de financiamento, com as despesas financeiras igual a zero dólar. A manutenção preventiva, embora estratégica (GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013), torna-se um custo de oportunidade em pequena escala, pois recursos são desviados de investimentos em tecnologias que poderiam aumentar a produtividade, como a irrigação eficiente em Itapetininga, que consome US\$ 74,1840.

Outro ponto crítico em ambos os sistemas é quanto a terra própria, que proporciona um impacto direto na rentabilidade. Em Buri, essa subcategoria representa 40,04% do custeio total. Em igual sentido, a produção itapetiningana, tem na terra própria 49,42% dos custos totais. Conforme Batalha et al. (2021), o custo de oportunidade da terra reflete o valor econômico do uso alternativo do solo, sendo crítico para avaliar a viabilidade de sistemas agrícolas. No contexto orgânico, onde práticas sustentáveis exigem longo prazo para retorno, esse custo é amplificado. Ciroth et al. (2008) ressalta que ignorar custos implícitos, como o da terra, subestima os impactos econômicos, e vai além, ao evidenciar que a produção está vinculada a um recurso que poderia ser alocado para outras atividades mais rentáveis, dado o fato de pouco menos que a metade dos custos é da terra própria.

A falta de escala em ambas as produções é mais um ponto crítico no sistema, proporcionando um círculo vicioso. Em Buri, o custo operacional é majoritariamente formado

pelos custos fixos, responsáveis por 87,25% do total. Em igual sentido, o produtor de Itapetininga, proporciona a mesma constatação, os custos fixos são o principal responsável pela formação do custo operacional, com valor um pouco abaixo que a produção de Buri, mas ainda relevante, em 68,79%. Garrison, Noreen e Brewer (2013) destacam que sistemas com altos custos fixos são vulneráveis a flutuações de mercado. O que poderia ser contornado pelas receitas, no entanto, em Buri a receita da laranja de US\$ 16,6914, insuficiente para cobrir custos operacionais, enquanto em Itapetininga, mesmo com maior arrecadação em sua produção de laranja, superior em 3.788,89% a produção de Buri, as receitas cobrem apenas 21,95% dos custos operacionais, evidenciando que a falta de escala impede a diluição desses custos (BATALHA et al., 2021).

O ponto crítico mais significativo é a incapacidade de diluir os custos fixos elevados nos sistemas orgânicos de pequena escala, agravada pelo custo de oportunidade da terra e pela ausência de financiamento. Essa incapacidade de absorver ou repassar esses custos nas receitas agrava a pressão sobre a margem de lucro, pois o peso dos investimentos em infraestrutura é alto. Assim, torna-se imperativo adotar linha de financiamento para alavancar a produção, maior produtividade e diversificação das fontes de receita como venda de crédito de carbono, de forma a minimizar a onerosidade futura e evitar que a estrutura de custos comprometa a competitividade e a sustentabilidade econômica dos empreendimentos orgânicos. Ademais, Božić (2024) relata que a escalabilidade da produção orgânica é um processo que envolve a transição de múltiplos pequenos empreendimentos agrícolas orgânicos, desconectados entre si, para unidades mais integradas, capazes de operar sistematicamente e replicar resultados em maior escala territorial e temporal. O autor continua, os pontos cruciais para o sucesso dessa escalabilidade se constituem pela redução da tensão entre a autonomia individual dos agricultores e a necessidade de cooperação mútua, o fortalecimento da confiança nas relações interpessoais e nas estruturas organizacionais, e integração por meio das cadeias de suprimentos baseadas em valores. As associações de microprodutores são estratégicas como intermediárias fundamentais entre as propriedades familiares e outras formas organizacionais intersetoriais mais complexas. Como alternativas práticas, sugere-se o desenvolvimento de regiões orgânicas, nos quais agricultores, cidadãos, autoridades públicas e atores locais realizam acordos formais visando à gestão sustentável dos recursos locais, promovendo práticas agroecológicas e impulsionando o desenvolvimento econômico e sociocultural das comunidades (BOŽIĆ, 2024).

6.1.3. Social do ciclo de vida

A produção orgânica de Buri e Itapetininga apresentam desafios sociais e estruturais que afetam diretamente os trabalhadores. Em ambas as propriedades analisadas observa-se a presença de trabalhadores em situação irregular, sem registro formal em carteira de trabalho. No caso da produção em Buri, houve o emprego de um trabalhador estrangeiro sem documentação adequada, o que resulta na ausência de direitos trabalhistas garantidos, como previdência e seguridade social. Esse padrão também foi observado em Itapetininga, onde se constatou que o trabalhador temporário não possui contrato formal. A prática de contratação sem registro formal em carteira de trabalho, observada nas propriedades de produção orgânica, reflete uma realidade recorrente e amplamente documentada no mercado de trabalho brasileiro. De acordo com Costa (2010), a informalidade não é ocasional, mas estruturalmente incorporada à dinâmica socioeconômica do país, apontando que a informalidade é resultado direto de relações históricas de dominação social e econômica, que privilegiam a acumulação capitalista em detrimento dos direitos sociais e trabalhistas, mantendo uma parcela significativa dos trabalhadores em situação vulnerável e desprotegida.

Em ambas as localidades de produção orgânica, a carga horária praticada está dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira. No entanto, a flexibilidade no horário de trabalho está subordinada aos interesses do empregador, o que configura exploração trabalhista. Ademais, o salário praticado em Buri é inferior ao mínimo estabelecido no Estado de São Paulo, de R\$ 1.550,00 (ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2023), mesmo com a inclusão de benefícios não monetários. Em Itapetininga, a constatação é de salário superior ao mínimo estabelecido para o Estado.

A ausência de registro formal observada impacta diretamente indicadores relacionados ao pagamento regular e documentado dos trabalhadores, privando-os de benefícios trabalhistas fundamentais, tais como férias remuneradas, 13º salário e previdência social. Esse quadro é agravado pela intenção, observada especialmente na propriedade de Buri, de realizar descontos salariais sem previsão legal, destacadamente relacionados à compensação ilegal de despesas com traslado de trabalhadores estrangeiros, prática incompatível com a legislação trabalhista vigente (COSTA, 2010). Adicionalmente, Gama et al. (2023) evidenciam que práticas similares são frequentes em contextos agrícolas brasileiros, nos quais trabalhadores são submetidos a condições laborais degradantes, resultando em vulnerabilidade extrema. Essa vulnerabilidade é aprofundada por Eberhardt e Miranda (2017), que enfatiza como trabalhadores estrangeiros enfrentam condições mais precárias e desafios adicionais, decorrentes de barreiras linguísticas, culturais e legais, que ampliam sua exploração laboral.

Ambos os casos analisados nas produções orgânicas apresentam lacunas significativas na documentação e regularização trabalhista, situação essa que é evidenciada tanto por Pereira, Galvão e Maxir (2018) quanto por Lima e Costa (2016) que destacam que tais práticas não são isoladas, mas refletem uma dinâmica generalizada de informalidade no mercado de trabalho brasileiro, afetando diretamente os indicadores sociais e econômicos relacionados a salário justo e condições adequadas de trabalho.

Os dados coletados corroboram essa perspectiva, apontando que a informalidade no emprego e as condições precárias de trabalho são elementos estruturais persistentes na região do Alto Paranapanema, como também destacado por Aquino, Gazolla e Schneider (2018), os quais demonstram a persistência de desigualdades socioeconômicas internas no setor agrícola. Diante desse cenário crítico, é imperativo que a produção orgânica, embora tenha o mérito indiscutível de promover benefícios ambientais e sustentabilidade ecológica, também seja estruturada para garantir condições dignas e justas aos trabalhadores envolvidos. Nesse sentido, faz-se necessária a implementação rigorosa de políticas públicas eficazes, fiscalização trabalhista contínua e uma conscientização ampliada sobre os impactos sociais e éticos relacionados às práticas laborais informais.

6.2. Análise de sensibilidade

6.2.1. Ambiental do ciclo de vida

O ponto ambientalmente crítico constatado na pesquisa é o esterco bovino, comum a ambos os produtores analisados. Para análise de sensibilidade foi considerado um cenário alternativo ao esterco de gado, partindo-se da pesquisa de Akosah, Adjei-nsiah e Brentu (2021), a qual, investigou estratégias de manejo da fertilidade do solo para otimizar a produção de laranja com pequenos agricultores. Diante do declínio da fertilidade do solo e da incidência de pragas com pequenos agricultores, os pesquisadores compararam o uso de fertilizantes orgânicos, esterco de galinha e cachos vazios de dendê, com fertilizantes inorgânicos e suas combinações. Destacando-se o esterco de galinha que proporcionou aumento na produtividade de 65,3% em relação ao uso de fertilizantes minerais, mas quando comparado com o cacho vazio de dendê, os valores foram próximos, constatando que a produtividade é a mesma usando cacho vazio de dendê. A melhora na fertilidade do solo, é outro aspecto mencionado pelos autores, na qual o esterco de galinha se mostrou com fertilidade superior aos fertilizantes

minerais em 4,87%. Em igual sentido, Botelho et al. (2020) destacam que a adoção de esterco de galinha aumenta a produtividade em 4,02% em comparação à adubação convencional.

Lee et al. (2024) a partir de uma avaliação ambiental do ciclo de vida destacam que a utilização de esterco de galinha como fertilizante reduz as emissões de amônia e material particulado, em até 30% para a primeira categoria, se destacando como uma alternativa sustentável. Além disso, Ran et al. (2023) aprofundam essa análise ao destacar que 40% do fósforo minerado pelos humanos está presente no esterco animal, a utilização do esterco de galinha como fertilizante resulta em uma redução de 50% na dependência de fertilizantes sintéticos, resultando em menor impacto ambiental causado pela extração e produção de fertilizantes minerais. Prolongamento das reservas globais de fósforo em até 2.593 anos, diminuindo a necessidade de mineração de fosfato, que causa degradação ambiental. Reduzindo, em igual sentido, os impactos econômicos da eutrofização em US\$ 74,50 por quilo de fósforo reciclado, evitando a contaminação da água por excesso de nutrientes. Esse reaproveitamento eficiente do esterco de galinha substitui fertilizantes minerais, reduzindo a dependência de insumos sintéticos, e melhora a retenção de umidade e a estrutura do solo, beneficiando culturas agrícolas de longo prazo, como a laranja (BOTELHO et al., 2020).

Poore e Nemecek (2018) evidenciam que a produção de aves tem um impacto ambiental significativamente menor do que a produção de gado, quanto a emissões de gases de efeito estufa e consumo de água, para o último caso, a produção de 100 gramas de proteína bovina consome cerca de 164 litros de água, enquanto a proteína de ave requer apenas 22 litros, ou seja, 2.210% a menos de água, esses dados evidenciam que a produção de carne bovina exige um consumo de água muito superior ao da produção de aves, tornando-a mais impactante em termos de recursos hídricos. Para os gases de efeito estufa, o gado bovino gera 1.742% mais emissões de dióxido de carbono equivalente do que a carne de ave. Evidenciando que esterco bovino, subproduto direto da pecuária de corte e leite, está atrelado a um sistema altamente intensivo em consumo de água e emissões de gases de efeito estufa, frente a produção de aves, com impacto hídrico inferior e menor contribuição para os gases de efeito estufa, pois as aves produzem menos metano (POORE; NEMECEK, 2018). Contribui ainda para a sensibilidade com esterco de galinha o fato de a região de estudo possuir relevância na produção de aves em âmbito nacional, pois tradicionalmente concentra parte significativa desse setor (KRABBE et al., 2012). Para a produção orgânica de laranja em Buri e Itapetininga, isso reforça a necessidade de reconsiderar a dependência do esterco bovino como fertilizante, uma vez que ele está atrelado a um setor de alto impacto ambiental.

A partir das assertivas dos autores supramencionados, foi modelado um sistema de produção que substitui o esterco bovino por esterco de galinha como fertilizante. As demais entradas permaneceram as mesmas para ambos os sistemas produtivos.

O esterco de galinha modelado é oriundo da base de dados *Ecoinvent* em sua versão 3.9.1., seu fluxo tem a nomenclatura *poultry manure, dried*, e está na categoria *Treatment and disposal of non-hazardous waste*. Como a quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio varia entre os fertilizantes utilizados, sendo o esterco de galinha mais rico nesses nutrientes em comparação ao bovino, esse último, contém mais matéria orgânica, o que contribui para a melhoria da estrutura do solo (BOTELHO et al., 2020). Foi necessário ajustar as proporções para garantir um fornecimento adequado. Esse ajuste visa atender às quantidades utilizadas nas propriedades analisadas, garantindo que o esterco de galinha supra as necessidades nutricionais equivalentes às do esterco bovino. Para os cálculos foi considerado a assertiva de Botelho et al. (2020), a qual menciona que para equiparar 1 quilo de esterco bovino, são necessários aproximadamente 0,714 quilos de esterco de galinha quanto ao nitrogênio; 0,278 quilos para fósforo; e, 0,744 quilos para potássio. Como o maior valor necessário é de potássio, foi utilizado 0,744 quilos de esterco de galinha por quilo de esterco bovino para os cálculos.

Para a propriedade de Buri, a Tabela 18 mostra os resultados dos impactos proporcionados. O APÊNDICE 5 detalha as contribuições por entrada no sistema sensibilizado para cada categoria de impacto, em números absolutos. Ademais, para ambos os casos são usados o método de avaliação de impacto Impact World+ (BULLE et al., 2019).

Tabela 18 - resultado da análise de impacto do cenário com esterco de galinha para Buri

<i>Categoria de impacto</i>	<i>Resultado da avaliação de impacto</i>	<i>Unidade</i>
Mudança climática - longo prazo (MC (longo))	-2,89x10 ⁺⁰⁰	kg CO ₂ eq. (longo)
Mudança climática - curto prazo (MC (curto))	-2,80x10 ⁺⁰⁰	kg CO ₂ eq. (curto)
Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)	1,46x10 ⁺⁰⁰	MJ privados
Acidificação de água doce (AAD)	1,24x10 ⁻¹⁴	MJ privados
Ecotoxicidade em água doce (EAD)	1,30x10 ⁺⁰⁴	CTUe
Eutrofização de água doce (EuAD)	3,52x10 ⁻⁰⁷	kg PO ₄ P-lim. eq.
Toxicidade humana - cancerígena (TH)	8,50x10 ⁻⁰⁸	CTUh
Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer)	1,89x10 ⁻⁰⁷	CTUh
Radiações ionizantes (RI)	6,95x10 ⁻⁰⁰	Bq C-14 eq.
Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT)	7,12x10 ⁺⁰⁰	m ² de terras aráveis eq.ano
Transformação de terras - perda de biodiversidade (TT)	-1,66x10 ⁺⁰⁰	m ² de terras aráveis eq.

Eutrofização marinha (EM)	$5,27 \times 10^{-05}$	kg N N-lim. eq.
Uso de recursos minerais (URM)	$6,70 \times 10^{-03}$	kg privados
Degradação da camada de ozônio (DMO)	$1,20 \times 10^{-08}$	kg CFC-11 eq.
Formação de material particulado (FMP)	$7,26 \times 10^{-07}$	kg PM _{2,5} eq.
Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)	$7,30 \times 10^{-03}$	kg NMVOC eq.
Acidificação terrestre (AT)	$2,78 \times 10^{-08}$	kg SO ₂ eq.
Escassez de água (EA)	$-1,68 \times 10^{+01}$	m ³ eq. mundial

Fonte: elaborado pelo autor.

Quanto à produção de Itapetininga, a Tabela 19 evidencia os resultados dos impactos. Os detalhes das contribuições por entrada no sistema sensibilizado são evidenciados no APÊNDICE 6 para cada categoria de impacto, em números absolutos para a produção de Itapetininga.

Tabela 19 - resultado da análise de impacto do cenário com esterco de galinha para Itapetininga

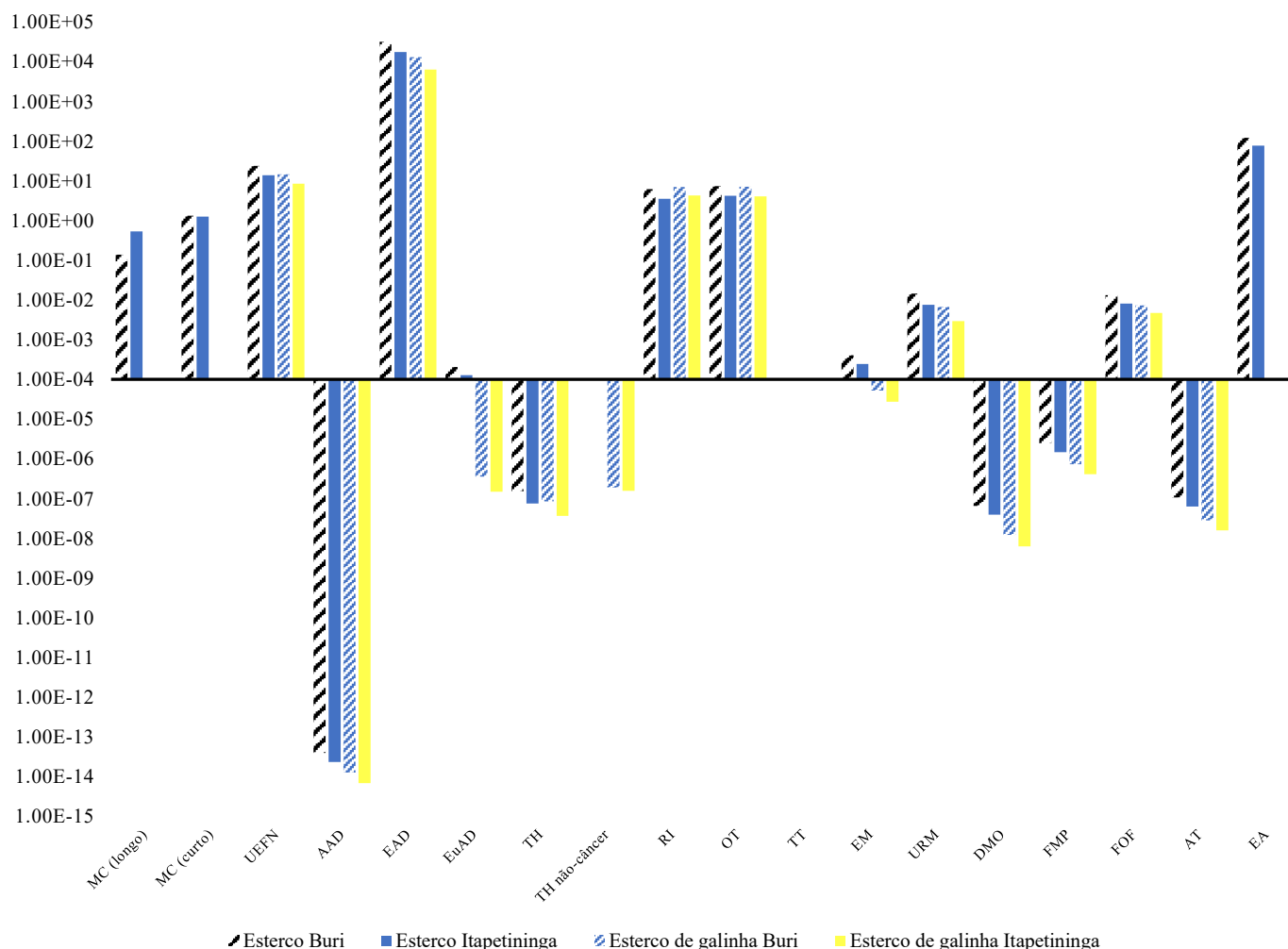
<i>Categoria de impacto</i>	<i>Resultado da avaliação de impacto</i>	<i>Unidade</i>
Mudança climática - longo prazo (MC (longo))	$-1,31 \times 10^{+00}$	kg CO ₂ eq. (longo)
Mudança climática - curto prazo (MC (curto))	$-1,25 \times 10^{+00}$	kg CO ₂ eq. (curto)
Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)	$8,45 \times 10^{+00}$	MJ privados
Acidificação de água doce (AAD)	$6,79 \times 10^{-15}$	MJ privados
Ecotoxicidade em água doce (EAD)	$6,31 \times 10^{+03}$	CTUe
Eutrofização de água doce (EuAD)	$1,48 \times 10^{-07}$	kg PO ₄ P-lim. eq.
Toxicidade humana - cancerígena (TH)	$3,64 \times 10^{-08}$	CTUh
Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer)	$1,55 \times 10^{-07}$	CTUh
Radiações ionizantes (RI)	$4,25 \times 10^{+00}$	Bq C-14 eq.
Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT)	$4,06 \times 10^{+00}$	m ² de terras aráveis eq.ano
Transformação de terras - perda de biodiversidade (TT)	$-9,49 \times 10^{-01}$	m ² de terras aráveis eq.
Eutrofização marinha (EM)	$2,71 \times 10^{-05}$	kg N N-lim. eq.
Uso de recursos minerais (URM)	$2,95 \times 10^{-03}$	kg privados
Degradação da camada de ozônio (DMO)	$6,23 \times 10^{-09}$	kg CFC-11 eq.
Formação de material particulado (FMP)	$4,07 \times 10^{-07}$	kg PM _{2,5} eq.
Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)	$4,67 \times 10^{-03}$	kg NMVOC eq.
Acidificação terrestre (AT)	$1,58 \times 10^{-08}$	kg SO ₂ eq.
Escassez de água (EA)	$-9,15 \times 10^{+00}$	m ³ eq. mundial

Fonte: elaborado pelo autor.

A partir dos valores obtidos com a sensibilidade da troca do esterco bovino por esterco de galinha, foi comparado todos os resultados e sintetizados no Gráfico 6. Como o pior cenário, ou o mais impactante ambientalmente, é para a produção com esterco bovino em Buri, todos os

resultados foram comparados com esse cenário. Revelando que os cenários com esterco de galinha apresentam, de maneira consistente, os menores impactos percentuais quando comparado aos demais, em especial, quanto a produção de Itapetininga com esterco de galinha.

Gráfico 6 - comparação da sensibilidade



Fonte: elaborado pelo autor.

A categoria de impacto mudança climática - longo prazo (MC (longo)) em relação a produção de Buri obteve redução de 25% quando usado o esterco de galinha. Em Itapetininga a redução é maior, de 30%. A redução ocorre porque o uso de resíduos de aves evita emissões de fertilizantes sintéticos, atreladas a produção de alimentos para os bovinos e promove fixação de carbono no solo. Para mudança climática – curto prazo (MC (curto)) a redução foi maior no cenário com esterco de galinha em Itapetininga, a qual alcançou 35% de redução frente ao esterco bovino. Em Buri os valores ficaram na ordem de 28% inferiores ao esterco de gado. Os valores negativos, para ambas as produções, sugerem que a aplicação desse esterco captura mais carbono do que emite, devido à redução de emissões de metano.

Quanto ao uso de energia fóssil e nuclear (UEFN) a redução para a produção de Buri, com esterco de galinha foi de 12,5%. Em Itapetininga esses valores chegaram a 40%, em relação ao esterco bovino aplicado na produção orgânica de Buri, isso é explicado pelo fato da produção itapetiningana não realizar o transporte do esterco. A acidificação de água doce (AAD), teve redução de impactos potenciais em 30% para Itapetininga, e de 25% para Buri, diante do esterco bovino para o pior cenário, a saber, produção orgânica de Buri. Esses valores indicam que as características associadas ao cenário com esterco de galinha em Itapetininga proporcionam uma melhora mais acentuada na redução da acidificação dos corpos hídricos, enquanto o esterco de galinha de Buri também contribui para a diminuição do potencial acidificante, embora de forma menos expressiva. Para ecotoxicidade em água doce (EAD), diante do esterco bovino para a produção orgânica de Buri, as reduções foram de 20% para a produção de Itapetininga e de 10% em Buri, evidenciando que a opção com fertilizante de origem em aves reduz a toxicidade. A eutrofização de água doce (EuAD) teve seus impactos reduzidos quando utilizado fertilizantes de esterco de galinha, contribuindo para menor lixiviação de fósforo devido à redução de fertilizantes sintéticos, vinculados a alimentação animal, nesse sentido, os valores obtidos para Buri foram 21% menores; para Itapetininga a redução foi de 32%.

A toxicidade humana - cancerígena (TH) para Buri teve redução de 18% diante do cenário com esterco bovino, para Itapetininga esse valor foi de 22%, em virtude de menor exposição a metais pesados e compostos carcinogênicos para o esterco de galinha. Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer), nessa categoria de impacto, a utilização de esterco de galinha na produção de Itapetininga representa os maiores ganhos, com redução de 17%, enquanto em Buri a redução foi de 11%. A categoria de impacto para radiações ionizantes (RI) teve redução de 13% em Buri, e de 15% em Itapetininga, frente ao esterco bovino da produção orgânica de Buri, por uso menor de energia nuclear e materiais radioativos na cadeia produtiva.

Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT) e transformação de terras - perda de biodiversidade (TT), são categorias na qual esterco de galinha permanece com melhores resultados, ou seja, com menores impactos ambientais. No primeiro caso, a redução para ambas as produções, Buri e Itapetininga, foi de 27% e 28%, respectivamente, frente ao esterco bovino. No caso de transformação de terras, o impacto negativo foi maior para o esterco de galinha usado na produção de Itapetininga gerando valores de $-9,49 \times 10^{-01} \text{ m}^2$ de terras aráveis eq. e de $-1,66 \times 10^{+00} \text{ m}^2$ de terras aráveis eq. em Buri, o que indica regeneração de ecossistema. Para a eutrofização marinha (EM), o esterco bovino impacta 76% a mais do que o esterco de galinha em Itapetininga, e 79% mais impactante em Buri, evidenciando que o esterco de aves é menos

impactante, em virtude da redução de nitrogênio liberado no ecossistema marinho. O uso de recursos minerais (URM) tem menores impactos quando são usados fertilizantes de origem em aves, para Buri a redução foi de 33%, enquanto em Itapetininga a redução é de 35%, em virtude de menor extração de minerais.

A degradação da camada de ozônio (DMO) resulta em menores impactos com o esterco de galinha da ordem de 8% em Buri e 12% em Itapetininga, pelo fertilizante reduzir as substâncias como hidroclorofluorocarbono e halons. Quanto a formação de material particulado (FMP_{2,5}), o esterco de galinha, reduz os impactos na produção de Buri em 15% e na produção de Itapetininga em 17% devido a menor queima de combustíveis e emissões industriais, atrelada a sua cadeia. A formação de oxidantes fotoquímicos (FOF) tem redução na ordem de 17% na produção de Buri e de 20% em Itapetininga frente ao esterco bovino, em virtude da menor emissão de compostos orgânicos voláteis na atmosfera. Para a acidificação terrestre (AT), o fertilizante de aves contribui com a diminuição dos impactos, pois gera valores 5% e 10% menores em Buri e Itapetininga, respectivamente, por contribuir com menor acidificação do solo por emissões sulfurosas. Por fim, quanto a escassez de água (EA), o esterco de galinha tem impacto negativo, ou seja, indica compensação hídrica, por alcançar valor de $-1,68 \times 10^{+01} \text{ m}^3 \text{ eq. mundial}$ em Buri e $-9,15 \times 10^{+00} \text{ m}^3 \text{ eq. mundial}$ em Itapetininga, para o caso de Buri a diminuição foi de 23%, enquanto em Itapetininga essa percentagem chegou a 25%.

O esterco de galinha sensibilizado em Buri e Itapetininga como alternativa ao esterco bovino proporcionou cenários com menores impactos, principalmente em 14 das 18 categorias analisadas, especialmente em Itapetininga, na qual, destaca-se reduções críticas para mudança climática, escassez de água e toxicidade humana. As reduções percentuais variam de 18% a 99%, com 9 categorias apresentando reduções superiores a 80%. Indicando que os cenários com fertilizantes de origem em aves são estratégicos para a transição para uma agricultura sustentável e de baixo carbono.

6.2.2. Custeio do ciclo de vida

Tanto na produção de Itapetininga quanto na produção de Buri, os custos fixos são os principais pontos críticos para o custeio do ciclo de vida. Nesse sentido, Garrison, Noreen e Brewer (2013) destacam que, em ambientes de produção com custos fixos elevados, como ocorre nas produções orgânicas analisadas, a geração de receitas assume papel estratégico para neutralizar a onerosidade desses custos. Os mesmos autores enfatizam que a correta alocação dos custos fixos, envolvendo depreciação, manutenção de benfeitorias e investimentos em

infraestrutura, é fundamental para a formação do custo total dos produtos, mas que, sobretudo, o aumento das receitas é o mecanismo que permite diluir esses custos e, transformá-los em pontos de vantagem competitiva. Batalha et al. (2021), por seu turno, argumentam que a competitividade dos empreendimentos rurais depende da contenção dos custos, além da implementação de estratégias de geração de receitas que possam elevar os preços de venda ou agregar valor à laranja produzida. Ressaltando que a adoção de certificação orgânica e a integração vertical da cadeia de valor são estratégias que, ao aumentar o faturamento, reduzem o peso dos custos fixos na estrutura de custos total. Ciroth et al. (2008) ampliam essa discussão ao considerar que a inclusão de benefícios externos, como subsídios, créditos de carbono ou incentivos governamentais, pode, de forma efetiva, compensar os altos investimentos fixos, diminuindo o impacto desses custos no balanço final. Ou seja, quando as receitas são robustas o suficiente para superar os custos fixos, e absorver os custos variáveis, o cenário se torna financeiramente sustentável, mesmo em contextos de elevado custeio fixo.

A relevância das receitas para contornar cenários com altos custos fixos acontece pelo aumento da margem de contribuição, permitindo que o excedente gerado seja direcionado para amortizar os custos fixos e, potencialmente, gerar lucro operacional mesmo em períodos de baixa produção. E ainda, a utilização de estratégias de agregação de valor, como a diversificação de produtos, processamento adicional e a conquista de mercados orgânicos, elevem os preços de venda e, conseqüentemente, a receita por unidade, diluindo o impacto dos custos fixos sobre o resultado financeiro. Adicionalmente, incorporar incentivos externos e mecanismos de compensação, que podem ser integrados aos modelos de avaliação de custos, transformando parte dos investimentos fixos em fontes de receita indireta ou em benefícios fiscais e ambientais. São estratégias para angariar mais receitas que articuladas, proporcionam aos produtores alcançar um cenário no qual o aumento das receitas compensa os altos custos fixos, além de gerar resultados operacionais positivos que reforçam a sustentabilidade e a competitividade da produção orgânica.

A chave para aliviar o peso dos custos fixos reside em uma combinação equilibrada entre a gestão rigorosa dos custos e a implementação de estratégias de receitas robustas e diversificadas (BATALHA et al., 2021; CIROTH et al., 2008; GARRISON; NOREEN; BREWER, 2013). Para esse último caso, a incorporação de créditos de carbono na produção orgânica de laranja além de reforçar o compromisso ambiental, se configura como uma estratégia relevante para aumentar receitas e melhorar a sustentabilidade financeira da propriedade agrícola. Xiaojun e Hakam (2024) demonstram que cultivos que promovem o

sequestro de carbono podem gerar ganhos financeiros adicionais, os quais, quando integrados a estruturação de custos, ajudam a compensar custos fixos e a viabilizar investimentos.

Os créditos de carbono representam a quantificação e comercialização do carbono capturado por meio de práticas sustentáveis, como a produção orgânica. Yadav et al. (2009), simularam diferentes rotações de culturas e técnicas de manejo, demonstrando que práticas em cultivos perenes, como a laranja, registram taxas de sequestro 5,3% superiores a culturas anuais. Vinculada a práticas sustentáveis, como o manejo orgânico, o reflexo é no aumento do valor do produto e na geração de créditos de carbono. Ao direcionar os créditos para práticas de campo, os produtores podem reduzir os custos e aumentar a margem de receita. Essa economia de custos e a valorização do produto são passíveis de aumentar as receitas em até 25% (XIAOJUN; HAKAM, 2024; YADAV et al., 2009).

A partir do cenário elucidado pelos autores supramencionados, foi sensibilizado para produção de Buri e Itapetininga uma redução dos custos em 25%, valor passível de ser incrementado com as receitas oriundas do crédito de carbono. Na produção buriense o custo total seria reduzido de US\$ 2.709,7016 para US\$ 2.036,2762, com valor bruto diminuído em US\$ 677,43. Enquanto em Itapetininga a redução bruta para o custeio total seria de US\$ 1.462,6298 saindo de US\$ 5.850,5194 para US\$ 4.387,8895. Os benefícios se ramificam, portanto, na compensação dos custos fixos, pois a receita extra ajuda a amortizar custos elevados, como manutenção e depreciação de benfeitorias ou instalações, parte relevante na formação dos custos dos produtores orgânicos. E na capacidade de torna-se mais competitivo, ao reduzir o peso dos custos fixos, os agricultores são capazes de investir em manejo produtivo que aumente a eficiência e o valor agregado da laranja. O crédito de carbono atua como um catalisador que potencializa os benefícios da agricultura orgânica. Ao transformar práticas sustentáveis em ganhos econômicos concretos, essa abordagem torna a produção orgânica de laranja mais resiliente, além de fortalecer o compromisso com a preservação ambiental. A sinergia entre créditos de carbono e agricultura orgânica demonstra-se uma estratégia eficaz para promover a redução do custeio do ciclo de vida, ampliando receitas e contribuindo para a criação de sistemas produtivos sustentáveis economicamente e ecologicamente responsáveis.

6.2.3. Social do ciclo de vida

Em cenário no qual todos os direitos trabalhistas são respeitados, e vão além, proporcionando condições dignas de trabalho, é possível ilustrar seus impactos aos trabalhadores. Nesse sentido, todos os trabalhadores possuem contratos formais, com registro

em carteira e acesso a direitos trabalhistas, como férias, 13º salário e fundo de garantia por tempo de serviço. A jornada de trabalho é definida de acordo com a legislação, com controle rigoroso de horas extras e intervalos. Os salários são compatíveis com a função e a realidade do Estado de São Paulo, sendo reajustados periodicamente. Programas de treinamento são implementados para garantir que os trabalhadores conheçam e apliquem as melhores práticas de segurança e saúde no trabalho. As normas regulamentadoras, e o comprometimento com seu cumprimento, garantem que as atividades sejam planejadas para minimizar esforços repetitivos e posturas inadequadas, com pausas e rodízio de funções quando necessário. Todos os funcionários recebem e utilizam os equipamentos de proteção adequados, como luvas, botas e protetores solares, para desempenhar as atividades na produção de laranja orgânica. E em casos de manuseio de insumos biológicos ou fitossanitários, são seguidas práticas rigorosas para evitar riscos à saúde. Medidas preventivas são tomadas em relação à operação de máquinas e equipamentos agrícolas, armazenamento de insumos e manipulação de produtos orgânicos, garantindo um ambiente de trabalho seguro.

A partir da constatação mencionada acima, foi sensibilizado cenário social para a produção orgânica de Buri e Itapetininga. Esse cenário, em conformidade com a legislação seria o suficiente para proporcionar mudanças drásticas para os trabalhadores. A Tabela 20 evidencia os ganhos.

Tabela 20 - cenário de conformidade com a legislação trabalhista

<i>Subcategoria</i>	<i>Resultado Buri</i>	<i>Resultado Itapetininga</i>	<i>Cenário conformidade com a legislação</i>
Salário justo	-1	1	0
Hora de trabalho	-1	1	0
Trabalho forçado	-1	0	0
Saúde e segurança	0	-1	0

Fonte: elaborado pelo autor.

O trabalhador de Buri sairia de uma condição majoritariamente precária, para um cenário de conformidade com a legislação. Para Itapetininga, mesmo que o resultado tenha sido positivo para as categorias salário justo e hora de trabalho, quando compilado. Não redime o fato de o trabalhador não possuir registro em carteira, acarretando impacto relevante para o futuro do funcionário, principalmente em relação a seguridade social e aposentadoria. Essas questões ajustadas para se enquadrar na previsão da legislação trabalhista brasileira, quanto ao registro formal, possibilitaria ganhos relevantes, pois empregos com carteira assinada, que oferecem maior estabilidade, demonstraram estar associados a melhores indicadores de bem-estar, uma vez que os trabalhadores têm acesso a benefícios como seguro-desemprego, fundo de garantia por tempo de serviço, férias e 13º salário, que contribuem para a redução do estresse

e da ansiedade (FERRIE, 2002; KIM; VON DEM KNESEBECK, 2015). Em igual sentido, os achados de Virtanen et al. (2005) sugerem que a formalização do emprego, com garantia de direitos e benefícios, está associada a uma redução dos riscos de desenvolver problemas de saúde, tanto físicos quanto mentais, essa estabilidade melhora a qualidade de vida dos trabalhadores, e diminui a vulnerabilidade a condições de trabalho prejudiciais.

Adicionalmente, com o trabalho registrado, a carga horária deve estar claramente definida, bem como, as condições de saúde e segurança, garantindo que não haja indícios de trabalho forçado. Nesse sentido, a formalização dos vínculos trabalhistas, asseguram direitos e condições adequadas de trabalho, atuando como um fator de proteção que reduz as desigualdades sociais (BENACH et al., 2014). Os mesmos autores demonstram que o respeito aos limites legais da jornada de trabalho está associado a menores índices de fadiga, estresse e problemas de saúde relacionados ao trabalho. O estudo indicou que trabalhadores que cumprem jornadas regulares apresentam melhor desempenho cognitivo e menor risco de doenças cardiovasculares e distúrbios musculoesqueléticos.

Rönnblad et al. (2019) demonstram que trabalhadores com jornadas reguladas apresentaram uma redução de aproximadamente 20% nos índices de fadiga em comparação com aqueles submetidos a jornadas excessivas, observou-se ainda, uma diminuição de cerca de 15% nos níveis de estresse entre os trabalhadores que seguiam os limites legais da jornada (CABRAL; SILVA; SOUZA, 2022). A conformidade com a legislação trabalhista brasileira, que coíbe práticas de trabalho forçado, tem sido associada à promoção de ambientes laborais mais éticos e seguros. Beserra, Hennington e Pignatti (2023) analisaram dados em regiões onde a fiscalização e o cumprimento da legislação eram mais rigorosos, os indicadores relacionados a práticas de trabalho forçado foram reduzidos em torno de 25%, concluindo que a erradicação de práticas análogas ao trabalho escravo promove a inclusão social, o fortalecimento dos vínculos empregatícios e a melhoria das condições de vida dos trabalhadores.

A observância das normas de saúde e segurança, conforme preconizado pela consolidação das leis trabalhistas e pelas normas regulamentadoras, tem impacto direto na redução de acidentes e doenças ocupacionais. Fernandes (2023) realizou uma análise comparativa entre ambientes de trabalho que adotam rigorosamente as normas de segurança e aqueles que não o fazem, constatando que a implementação rigorosa das normas de saúde e segurança resultou em uma diminuição de 35% nos acidentes de trabalho, além de um ambiente de trabalho mais saudável e motivador para os funcionários. Evidenciando que o cumprimento das normas trabalhistas, que regem a jornada de trabalho, previnem o trabalho forçado e

promovem a saúde e segurança no ambiente de trabalho, traz benefícios significativos tanto para a saúde física e mental dos trabalhadores quanto para a melhoria dos indicadores produtivos das propriedades agrícolas.

7. DISCUSSÃO

7.1. Revisão sistemática de literatura

A discussão foi elaborada a partir das contribuições da análise fatorial de correspondência (AFC), elucidada pela Figura 18, que tem como perspectiva aferir as relações e as inferências dos estudos componentes do portfólio de análise. Percebe-se, pela avaliação da Figura relativa à AFC, observa-se a formação de quatro grandes grupos temáticos. Os dois primeiros grupos estão localizados no quadrante esquerdo, em azul claro, onde um conjunto de palavras remete a impactos diretamente ligados ao cultivo e ao uso de agroquímicos, com termos como pesticida (*pesticide*), herbicida (*herbicide*), fertilizante (*fertilizer*) e toxicidade (*toxicity*). Esses termos se correlacionam com diversos estudos que identificam os agroquímicos e fertilizantes como responsáveis por parcelas significativas dos impactos ambientais, como toxicidade humana e eutrofização.

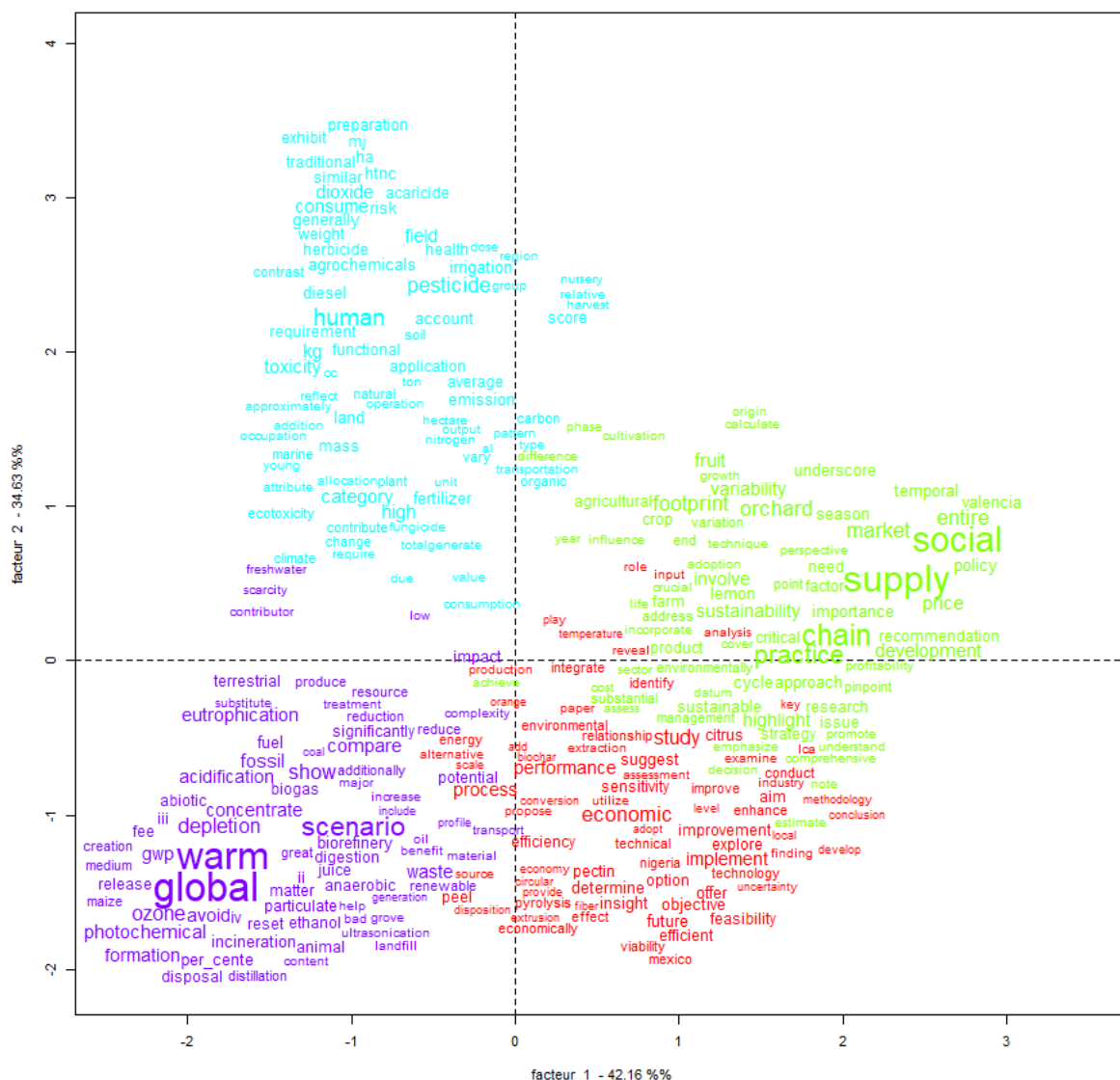
Especificamente, Juraske e Sanjuán (2011) destacam o alto impacto dos fungicidas pós-colheita sobre a toxicidade humana e aquática, enquanto os estudos de Mariana, Alzate e Ariel (2021) e Cabot et al. (2023) confirmam que os agroquímicos contribuem substancialmente para a toxicidade humana, ecotoxicidade e uso de recursos naturais. No quadrante inferior esquerdo, em roxo, há uma correlação com termos em vermelho, incluindo aquecimento (*warm*), ozônio (*ozone*) e eutrofização (*eutrophication*), sendo estes os termos mais proeminentes. Esses termos sintetizam os impactos relacionados à transformação de resíduos agrícolas e ao uso de energia, ressaltando a importância de considerar os benefícios ambientais da reutilização de resíduos cítricos por meio da biodigestão, biogás e energia térmica, como evidenciado nos estudos de Mariana, Alzate e Ariel (2021), Negro et al. (2017), Martinez-Hernandez et al. (2019) e Ortiz et al. (2020). Especificamente, Martinez-Hernandez et al. (2019) destacou que o uso de cascas cítricas para a geração de vapor reduz drasticamente o impacto climático em comparação com os combustíveis fósseis.

Os outros dois grupos estão localizados no quadrante direito, em verde. Próximo ao centro do quadrante superior, encontram-se palavras relacionadas aos impactos na cadeia produtiva e às práticas agrícolas sustentáveis. A presença de termos como cadeia (*chain*),

suprimento (*supply*), social (*social*), prática (*practice*) e desenvolvimento (*development*) reforça os achados dos estudos de Bonales-Revuelta et al. (2022), Tyszler, Kramer e Blonk (2014), Knudsen et al. (2011), Muñoz Torres et al. (2022) e Pergola et al. (2013), que destacam a importância da gestão sustentável na cadeia de produção, das práticas orgânicas e das estratégias agrícolas circulares. Tyszler, Kramer e Blonk (2014) e Muñoz Torres et al. (2022) enfatizam, em especial, como a fase pós-colheita e a escolha do método agrícola, orgânico ou convencional, influenciam a pegada de carbono e a sustentabilidade social, principalmente no que se refere às exportações.

Mais abaixo, no quadrante inferior direito, em vermelho, encontram-se aspectos relacionados aos impactos econômicos e à alocação de impactos ambientais. Termos como econômico (*economic*), alocação (*allocation*), processo (*process*) e impacto (*impact*) destacam desafios metodológicos, apontados principalmente pelos estudos de Beccali et al. (2010), Mariana, Alzate e Ariel (2021), Machin Ferrero, Wheeler e Mele (2022) e Negro et al. (2017), que enfatizam a sensibilidade das avaliações ambientais às escolhas metodológicas de alocação econômica ou em massa, especialmente ao lidar com resíduos e coprodutos. Mariana, Alzate e Ariel (2021) indicaram que a alocação econômica reduz os impactos à medida que a complexidade da biorrefinaria aumenta, apresentando uma contradição significativa em relação à alocação mássica, na qual os impactos aumentam com a complexidade.

Figura 18 - análise fatorial de correspondência englobando todos os estudos



Fonte: elaborado pelo autor.

Nos aprofundando nas nuances que a Figura 18 revela, se identifica uma relação entre os estudos localizados nos quadrantes superior direito e inferior direito, devido à proximidade e transição entre as cores verde e vermelha. Nesse contexto, os estudos agrupados no quadrante inferior direito do mapa fatorial compartilham uma abordagem pragmática, focada na integração entre sustentabilidade ambiental, viabilidade econômica e implementação técnica. Beccali et al. (2010) e Dwivedi, Spreen e Goodrich-Schneider (2012) enfatizam que decisões metodológicas e agrônomicas, como a escolha dos métodos de alocação ambiental e o uso de técnicas de renovação em pomares, influenciam diretamente os impactos ambientais e a eficiência da produção. Mariana, Camilo e Ariel (2021) demonstra que diferentes níveis de complexidade em biorrefinarias afetam de forma distinta o desempenho ambiental, dependendo

dos critérios de alocação adotados, reforçando a importância de análises multivariadas no planejamento de sistemas produtivos. Khanpit, Tajane e Mandavgane (2023a) e Martinez-Hernandez et al. (2019) contribuem com avaliações tecnoeconômicas de processos inovadores voltados à valorização de resíduos cítricos, seja por meio da produção de fibras alimentares ou da geração de energia térmica. Entre esses, a extrusão e a valorização energética do bagaço de laranja despontam como alternativas promissoras, combinando altos retornos econômicos com significativa redução de emissões. Por fim, Teigiserova et al. (2022) amplia a discussão ao destacar o papel decisivo da matriz energética e da economia circular na sustentabilidade das cadeias bioeconômicas. Coletivamente, esses estudos ilustram uma linha argumentativa robusta: a sustentabilidade se fortalece quando associada à eficiência operacional, ao planejamento estratégico e à viabilidade de implementação das soluções.

Os estudos localizados no quadrante inferior esquerdo da análise fatorial, representados pelos termos em roxo, concentram-se na avaliação dos impactos ambientais associados à valorização de resíduos cítricos, particularmente das cascas de laranja, com ênfase em categorias críticas como aquecimento global, acidificação, eutrofização e esgotamento de recursos. Negro et al. (2017), Cusenza et al. (2021) e Ortiz-Sanchez et al. (2021) utilizam metodologias robustas de avaliação do ciclo de vida para comparar diferentes estratégias de aproveitamento da biomassa residual, incluindo biorrefinarias de diferentes complexidades, digestão anaeróbia, incineração, pirólise e extração de fibras alimentares e óleos essenciais. De forma consistente, os resultados demonstram que as estratégias de valorização são ambientalmente superiores ao descarte em aterros sanitários, resultando em reduções significativas no potencial de aquecimento global e no consumo de combustíveis fósseis. Apesar da consistência metodológica e da forte contribuição para o avanço da bioeconomia cítrica, esses estudos enfrentam limitações relevantes. Além disso, observa-se uma notável falta de integração das dimensões social e econômica, com exceções parciais nos estudos de da Costa et al. (2022) e Ortiz-Sanchez et al. (2021), que incorporam análises tecnoeconômicas. Ainda assim, o conjunto de trabalhos oferece evidências sólidas de que a valorização das cascas de laranja pode gerar produtos de alto valor agregado, como biogás, pectina, fibras e biofertilizantes, ao mesmo tempo em que reduz substancialmente os impactos ambientais da cadeia produtiva de citros. Esses achados reforçam o papel estratégico dessas soluções na transição para sistemas alimentares mais circulares, sustentáveis e resilientes.

Os estudos posicionados no quadrante superior direito, representados pela cor verde, convergem em torno de uma abordagem sistêmica que valoriza a cadeia de suprimentos, o

desenvolvimento sustentável e a variabilidade espacial e temporal dos impactos ambientais da produção de citros. Análises de caso, como a das laranjas valencianas (TYSZLER; KRAMER; BLONK, 2014) e do suco orgânico brasileiro exportado para a Dinamarca (KNUDSEN et al., 2011), destacam que o transporte, especialmente a longas distâncias e com uso de caminhões refrigerados, é uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa, respondendo por até 59,4% da pegada de carbono em alguns casos.

Por outro lado, sistemas de agricultura orgânica apresentam menores impactos ambientais ao evitarem fertilizantes sintéticos e tratamentos agressivos no pós-colheita, embora exijam mais área cultivada por unidade de produção. Essa dicotomia reforça a importância de integrar práticas agrícolas sustentáveis com soluções logísticas mais eficientes. Além disso, os artigos exploram a complexidade da sustentabilidade ao longo de toda a cadeia de produção e distribuição dos citros, indo além da perspectiva ambiental para incorporar aspectos sociais. Muñoz Torres et al. (2022), por exemplo, investiga os efeitos sociais e ambientais de diferentes estratégias de comercialização em mercados como Frankfurt, Madri e Nova York, demonstrando que cadeias de suprimentos mais curtas nem sempre garantem melhor desempenho global. O uso de ferramentas como a avaliação do ciclo de vida social ajuda a mapear essas nuances e reforça a necessidade de políticas públicas e estratégias empresariais que considerem as especificidades regionais, os métodos de cultivo e o destino final dos produtos. Em resumo, Tyszler, Kramer e Blonk (2014), Knudsen et al. (2011) e Muñoz Torres et al. (2022) argumentam que práticas sustentáveis e cadeias de suprimento otimizadas não são apenas complementares, mas interdependentes na busca por sistemas alimentares mais justos e ambientalmente responsáveis.

Os estudos posicionados no quadrante superior esquerdo, destacados em azul ciano, apresentam elevada robustez metodológica aliada a propostas de baixo impacto ambiental, posicionando-se como referências-chave na busca por sistemas de produção de laranja mais sustentáveis. Esses estudos compartilham uma aplicação rigorosa da avaliação ambiental do ciclo de vida, com uma consideração abrangente de variáveis regionais, temporais e metodológicas que influenciam diretamente os resultados (MACHIN FERRERO; WHEELER; MELE, 2022; MARIANA; ALZATE; ARIEL, 2021). A fase agrícola é consistentemente identificada como o principal ponto crítico ambiental, principalmente devido ao uso intensivo de fertilizantes à base de nitrogênio, pesticidas e água para irrigação (CABOT et al., 2023; CABOT; LADO; SANJUÁN, 2023; PERGOLA et al., 2013). Como resposta, práticas como a agricultura orgânica, a substituição de insumos químicos por biofertilizantes, o reúso de águas

residuais tratadas e a redução da mecanização têm sido destacadas como estratégias eficazes para mitigar os impactos ambientais, especialmente em relação à pegada hídrica e às emissões de gases de efeito estufa (BEN ABDALLAH et al., 2023; FALCONE et al., 2020).

Além disso, os estudos destacam o potencial das estratégias de economia circular, especialmente a valorização dos resíduos da polpa de laranja por meio de biorrefinarias de baixa complexidade ou da digestão anaeróbia, alternativas que demonstraram melhor desempenho ambiental do que o descarte em aterros sanitários e exigem menores investimentos iniciais (DA COSTA et al., 2022; MARIANA; ALZATE; ARIEL, 2021; NEGRO et al., 2017; ORTIZ-SANCHEZ et al., 2021). A integração energética, o uso de biogás no próprio processo produtivo e a adoção de fontes de energia renovável também se mostraram fatores-chave na redução do impacto climático (MARTINEZ-HERNANDEZ et al., 2019; TEIGISEROVA et al., 2022). Embora os sistemas orgânicos geralmente apresentem menor produtividade em comparação aos convencionais, os estudos ressaltam que os ganhos em sustentabilidade, aliados à viabilidade econômica proporcionada por preços mais altos dos produtos e incentivos de políticas públicas, compensam essas diferenças (FALCONE et al., 2020; PERGOLA et al., 2013). Quando essas abordagens são integradas a modelos de transporte mais eficientes e análises sistêmicas da cadeia de suprimentos (MUÑOZ TORRES et al., 2022; TYSZLER; KRAMER; BLONK, 2014), elas formam caminhos promissores rumo a um modelo agrícola de menor impacto, tecnicamente e economicamente viável e socialmente mais responsável.

Ao aprofundar essa discussão, os resultados mostram que a sustentabilidade na produção de citros é uma questão complexa e abrangente, exigindo uma abordagem colaborativa e interdisciplinar. Para alcançar um sistema de produção que busque mitigar seus impactos, é fundamental considerar os aspectos ambientais, sociais e econômicos, que devem ser equilibrados para garantir a viabilidade do setor a longo prazo. Um elemento crucial nesse debate é a necessidade de abordagens inovadoras no processamento dos resíduos da casca de laranja. Isso implica uma busca constante por maior eficiência energética, melhor desempenho ambiental e viabilidade econômica. Esses avanços são essenciais para o desenvolvimento de soluções sustentáveis que gerenciem os resíduos de forma eficaz, bem como criem valor agregado, contribuindo para a economia circular. Além disso, o confronto de diferentes perspectivas trazidas pelos estudos destaca a importância de abordagens sustentáveis e responsáveis também na própria produção de laranjas. Isso envolve a redução da toxicidade e o manejo eficaz de pesticidas, com o objetivo de minimizar as emissões de gases de efeito estufa e proteger o meio ambiente e a saúde humana. Significa, ainda, considerar a pegada ecológica

da produção de laranja e os riscos associados ao uso excessivo de produtos químicos. A discussão aponta para a necessidade de abordagens integradas e inovadoras na agricultura e no gerenciamento de resíduos, a fim de enfrentar os desafios ambientais, especialmente aqueles relacionados às mudanças climáticas. As biorrefinarias, aliadas a práticas agrícolas sustentáveis, surgem como uma solução promissora. Elas oferecem uma forma de integrar o manejo de resíduos à produção agrícola, resultando em um sistema ambientalmente sustentável, economicamente viável e socialmente responsável.

7.1.1. Implicações para a revisão sistemática de literatura

A maioria dos estudos concentra-se em países do norte global, como Estados Unidos, Itália e Espanha, enquanto países do sul global apresentam uma base de dados limitada. Essa assimetria compromete a representatividade global dos resultados e a aplicação universal das técnicas de ciclo de vida analisadas. Curran (2012) aponta que países em desenvolvimento carecem de conhecimento técnico e infraestrutura adequada, dificultando a execução e o aproveitamento dos resultados que a ACV proporciona. Tal limitação sublinha a necessidade de uma maior equidade no acesso a tecnologias e metodologias. Ademais, se faz necessário desenvolver bases de dados locais para regiões menos representadas, como América Latina e África, ampliando a capacidade dessas regiões em avaliar e melhorar seus sistemas produtivos.

O rol de estudos analisados prioriza categorias de impacto específicas, como aquecimento global e toxicidade humana, em detrimento de uma análise multifatorial mais abrangente. Nesse sentido, a toxicidade humana foi mais associada ao uso de fertilizantes nitrogenados, mas faltam análises que considerem interações mais complexas, como a relação entre toxicidade e práticas de manejo agrícola. Fazendo-se necessário ampliar os estudos para incluir interações entre múltiplas categorias de impacto, como eutrofização e acidificação, para o alcance de uma visão sistêmica dos impactos ambientais.

A integração entre as abordagens ambiental, de custeio e social é limitada, com poucos estudos vinculando os diferentes impactos. Tal restrição inviabiliza a aplicabilidade dos resultados para uma análise holística. Desse modo, as práticas orgânicas demonstram benefícios ambientais, mas seus custos e implicações sociais ainda são pouco explorados, como evidenciado no estudo de Sgroi et al. (2015). Constatando que investigar metodologias híbridas que combinem ACV ambiental, social e de custeio para fornecer uma avaliação mais robusta e abrangente é uma necessidade para estudos futuros. Adicionalmente, a abordagem social é pouco explorada, apenas 7,89% dos estudos consideraram a dimensão social do ciclo de vida.

Isso reflete uma maturidade metodológica ainda insuficiente, com limitações na coleta de dados e na definição de categorias de impacto relevantes. Cenário que tende a mudanças para os próximos anos, com o advento da ISO 14.075 (2024), que estabelece a estrutura para aplicação da avaliação social do ciclo de vida.

A variação na definição de limites do sistema compromete a comparabilidade entre estudos. Enquanto abordagens como berço ao túmulo fornecem uma visão mais abrangente, muitas pesquisas limitam-se do berço ao portão, excluindo etapas importantes como distribuição e descarte. Fazendo existir uma lacuna nas pesquisas sobre a uniformização dos limites do sistema nas análises, promovendo comparabilidade e maior robustez nos resultados. Dos artigos analisados, 78,95% utilizam apenas uma unidade funcional, o que pode ser insuficiente para representar a multifuncionalidade de sistemas agrícolas. No estudo de van der Werf, Knudsen e Cederberg (2020) se recomenda unidades que considerem tanto o produto quanto a área cultivada, mas essa prática ainda é pouco adotada. Nesse sentido, promover a adoção de múltiplas unidades funcionais para capturar a complexidade dos sistemas agrícolas e melhorar a precisão das análises, é uma necessidade para estudos futuros.

7.2. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida

7.2.1. Avaliação ambiental do ciclo de vida

Existe uma necessidade imperiosa de repensar a produção de laranja – e, por extensão, outros alimentos – rumo a um sistema orgânico que seja autêntico em todas as etapas, sem a herança dos insumos e práticas convencionais. Na análise realizada em Buri e Itapetininga, os dados mostram que, embora o sistema orgânico apresente resultados positivos na redução da toxicidade humana e na diminuição do uso de agrotóxicos, os impactos relacionados à dependência de esterco permanecem significativos. Nesse sentido, em Buri, o manejo animal contribuiu com 2.760% do potencial de aquecimento global ($1,38 \times 10^{-01}$ kg CO₂ eq. no longo prazo) devido às emissões de metano e óxido nitroso, enquanto a ecotoxicidade em água doce atingiu $3,19 \times 10^4$ CTUe, associada a metais pesados como cádmio e zinco presentes no esterco (ALISHAH et al., 2019; SANTOS et al., 2024). Para Itapetininga, mesmo com menor impacto hídrico ($7,65 \times 10^1$ m³ eq.), a produção de esterco ainda depende de ração convencional, evidenciando uma falha na circularidade do sistema (BEN ABDALLAH et al., 2023). Em contraste, o estudo de Bonales-Revuelta et al. (2022) demonstra que sistemas orgânicos alcançam reduções relevantes nos gases de efeito estufa, pois a substituição de fertilizantes

sintéticos por compostagem orgânica reduziu a referida categoria de impacto em 70% (36,3 kg CO₂ eq./ton. frente a 122,5 kg CO₂ eq./ton. no convencional), além de benefícios para a acidificação e eutrofização. No entanto, a compostagem é produzida com resíduos da indústria de cana-de-açúcar convencional, demandando três vezes mais água (57,9 m³/ton.) que sistemas convencionais, característica que expõe a dependência indireta de cadeias insustentáveis (BONALES-REVUELTA et al., 2022). Mesmo ali, a comparação com o sistema convencional realça que muitos dos benefícios ambientais estão atrelados à eliminação de fertilizantes sintéticos, algo que, nos sistemas de Buri e Itapetininga, ainda é comprometido pela utilização do esterco bovino, principal insumo orgânico, produzido por gado alimentado com soja e milho de monocultivos convencionais (GENRO; LARA; LAMPERTI, 2023).

Knudsen et al. (2011) evidenciam que os ganhos ambientais obtidos em produções orgânicas são anulados pelas etapas de transporte e processamento. A contribuição de 58% para o potencial de aquecimento global do transporte mostra que, mesmo que a produção seja realizada de forma orgânica, a integração com processos logísticos convencionais gera um efeito dominó que compromete a sustentabilidade ambiental ao vincular produtos orgânicos a cadeias logísticas intensivas em carbono. Essa constatação é reforçada pelo estudo de Ben Abdallah et al. (2023), no qual a produção orgânica de laranja irrigado com água dessalinizada apresenta um desempenho ambiental superior, mas somente porque o sistema foi repensado para minimizar a dependência de insumos e processos que permanecem ligados à abordagem convencional. Em complemento, Coltro et al. (2009) revelam que, mesmo entre produtores que se autodenominam orgânicos, há uma variabilidade enorme no uso de energia, água e fertilizantes. Esses dados indicam que o orgânico tradicionalmente adotado, muitas vezes uma conversão parcial de um sistema convencional, não atinge o potencial de redução de impactos ambientais que poderia ser alcançado com uma ruptura completa dos paradigmas convencionais.

A ampla análise de Poore e Nemecek (2018) reforça que, para muitos produtos, os impactos ambientais podem variar até 50 vezes entre produtores. Essa variabilidade ressalta que a simples transição para o orgânico, quando ela apenas replica práticas convencionais adaptadas, não é suficiente para reduzir substancialmente os impactos. A comparação dos dados mostra que, enquanto as melhores práticas orgânicas internacionais conseguem alcançar níveis de potencial de aquecimento global, uso de terra e acidificação muito inferiores, os sistemas de transição recente para o orgânico, como os de Buri e Itapetininga ainda ficam distantes desses patamares.

Diante desse cenário, a argumentação se consolida em torno da necessidade de uma conversão radical para um sistema orgânico autêntico, que não incorpore insumos, tecnologias ou práticas provenientes da produção convencional. Isso implica em reinventar a estratégia de aplicação dos insumos, eliminando a dependência de esterco produzido e manejado segundo critérios convencionais, e adotando sistemas de compostagem e biofertilizantes que promovam a ciclagem integral dos nutrientes sem subprodutos indesejados. Redesenhar a matriz energética das operações, substituindo o uso de combustíveis fósseis por fontes renováveis, como a energia solar ou biomassa, desde a preparação do solo até o transporte, evitando que o transporte de insumos ou produtos comprometa os ganhos ambientais da produção. Reformular toda a cadeia logística e de processamento, eliminando ou minimizando o transporte de longa distância e adotando tecnologias de baixo impacto no processamento, que se alinhem a um modelo descentralizado e local de produção e consumo. Implementar um sistema de monitoramento e certificação que vá além dos padrões atuais, baseando-se em indicadores integrados e harmonizados para assegurar que todas as etapas, do campo à mesa, sejam conduzidas de forma sustentável, são ações necessárias e possíveis de serem alcançadas para a conversão em uma produção sustentável.

Portanto, para que a produção orgânica de laranja, nos sistemas de Buri e Itapetininga atinja seu pleno potencial de redução de impactos ambientais, é imprescindível uma conversão que se distancie completamente das práticas convencionais. Por meio de uma ruptura total com o modelo tradicional será possível implementar uma cadeia de produção, processamento e distribuição verdadeiramente sustentável, capaz de reduzir drasticamente os impactos revelados pelas categorias analisadas.

7.2.2. Custeio do ciclo de vida

As informações constatadas até aqui apontam claramente que o ponto crítico principal para a produção orgânica de citros em Buri e Itapetininga está relacionado à alta participação dos custos fixos, no primeiro caso o valor representa 87,75%, em Itapetininga esses custos representam 68,79%, especialmente com manutenção periódica das benfeitorias e o custo de oportunidade da terra própria, que em Buri representa 40,04% dos custos totais e em Itapetininga, 49,42%. Esses valores são relevantes quando comparado ao estudo realizado por Falcone et al. (2020), onde as práticas orgânicas se mostraram economicamente mais eficientes devido ao preço superior e subsídios para a produção fornecidos pela União Europeia, resultando em lucro líquido médio de € 4.255,00 por hectare comparado aos sistemas integrados

com € 3.134,00 por hectare e convencionais de € 2.788,00 por hectare. O estudo ainda destacou que, apesar da rentabilidade maior, os custos de infraestrutura e manutenção preventiva também são significativos no modelo orgânico.

Chakravarty e Wade (2023) destacaram aspectos semelhantes aos constatados nos resultados do custeio do ciclo de vida sobre o custo operacional das propriedades estudadas em Buri e Itapetininga. Assim como na realidade paulista apresentada, constatou-se pelos autores que investimentos em técnicas preventivas, como as culturas de cobertura, aumentam custos iniciais de produção, mas trazem benefícios no médio e longo prazo, melhorando a saúde do solo e reduzindo a necessidade futura de insumos químicos e manutenção corretiva emergencial, apesar de não ser financeiramente viável no cenário atual de baixo rendimento do local analisado pelos autores. Essa informação amplia o debate sobre a necessidade estratégica de investimentos iniciais elevados, o que é uma realidade para os produtores de Buri e Itapetininga em relação à manutenção das instalações, refletindo-se na alta proporção dos custos fixos.

Sgroi et al. (2015) apontam que, embora os custos operacionais sejam inferiores ao sistema convencional devido ao menor uso de insumos externos, ainda há um peso significativo dos custos fixos estruturais. Neste caso, a agricultura orgânica demonstrou uma rentabilidade maior devido a um preço superior no mercado e menores custos com mão de obra em comparação com o sistema convencional. Esse dado traz uma visão complementar ao contexto analisado em Buri e Itapetininga, pois apesar da vantagem do preço superior, que também é válida no caso brasileiro analisado, os custos fixos continuam sendo um desafio significativo, especialmente pela pequena escala da produção.

Os resultados obtidos pelo custeio do ciclo de vida são coerentes com as análises de Chakravarty e Wade (2023), Falcone et al. (2020), e Sgroi et al. (2015), especialmente em relação à dificuldade da diluição dos custos fixos devido à pequena escala produtiva e à relevância dos custos associados ao uso da terra própria e manutenção preventiva das instalações agrícolas. A relação entre escala, custos fixos e sustentabilidade econômica é recorrente em todos os estudos comparados, evidenciando que a sustentabilidade econômica depende fortemente da capacidade de diluir custos por meio da escala produtiva adequada. Além disso, os resultados obtidos até aqui suscitam debates importantes sobre o papel do financiamento externo na redução da pressão financeira sobre os pequenos produtores. Tanto o produtor de Buri quanto de Itapetininga está sofrendo as consequências de uma estrutura de custos onde os financiamentos são inexistentes, elevando ainda mais os custos implícitos e os

custos de oportunidade da terra. Essa questão é crucial no debate sobre políticas agrícolas, já que a ausência de linhas de crédito adequadas reforça o ciclo vicioso de baixa produtividade, baixos investimentos em tecnologia, e altos custos fixos, conforme sugerem os autores supramencionados.

Finalmente, a situação evidenciada em Buri e Itapetininga, onde os custos operacionais são majoritariamente fixos, 87,25% no primeiro caso e 68,79% no último, respectivamente, e as receitas são insuficientes para cobrir tais custos, apenas 21,95% dos custos operacionais em Itapetininga são cobertos pela receita, confirma os desafios relatados pelos estudos supramencionados quanto à sustentabilidade financeira de sistemas agrícolas orgânicos de pequena escala. Torna-se crucial explorar soluções como a mencionada diversificação, adoção de linhas de crédito, melhorias técnicas e adoção de sistema de crédito de carbono para reduzir esses desafios estruturais e garantir a sustentabilidade econômica futura dessas operações. A rentabilidade orgânica, embora possível, exige políticas de apoio, escala adequada e inovação gerencial para superar desafios estruturais.

7.2.3. Avaliação social do ciclo de vida

A análise das condições laborais na produção orgânica de laranja em Buri e Itapetininga evidencia uma contradição intrínseca ao sistema de agricultura orgânica, tradicionalmente concebido como uma alternativa sustentável à agricultura convencional (BEN ABDALLAH et al., 2023). Essa contradição se manifesta na medida em que, embora o modelo orgânico seja promovido como uma via de emancipação e valorização dos pequenos produtores, na prática ele reproduz, e intensifica, mecanismos históricos de exploração e marginalização dos trabalhadores.

Historicamente, o processo de formação das relações de trabalho no Brasil teve suas raízes no sistema escravocrata, que estabeleceu bases de desigualdade e exploração. Desde o período colonial, o sistema escravocrata implantou fundamentos que perpetuaram a desigualdade social e a marginalização dos ex-escravizados, os quais, após a abolição, foram empurrados para o mercado informal (SCHWARCZ; STARLING, 2015). Essa análise histórica é relevante para compreender que a agricultura, mesmo em seus ramos que se apresentam como sustentáveis e alternativos, carrega resquícios de uma organização social que privilegia a redução dos custos laborais em detrimento dos direitos dos trabalhadores. Nos dados da produção orgânica de laranja em Buri e Itapetininga, essa herança é evidente: trabalhadores submetidos a remunerações inferiores ao mínimo estabelecido pela legislação estadual, sem a

devida formalização contratual, revelam um cenário onde o sistema orgânico contrasta com práticas laborais que remetem à informalidade estruturada historicamente. A escolha pela produção orgânica, muitas vezes celebrada como um avanço em termos de sustentabilidade ambiental e social, pode ocultar uma continuidade de práticas de exploração. A falta de políticas inclusivas que historicamente deveriam ter integrado os grupos marginalizados ao novo cenário produtivo resulta em um modelo de produção que, apesar de seus discursos de ambientalmente amigável, não rompe com a lógica da informalidade e da precarização do trabalho.

A exploração do trabalho no meio rural se estendeu à utilização de mão de obra infantil e à imposição de condições laborais degradantes, amparadas por uma violência institucional que desumanizava os trabalhadores (AGUILAR FILHO, 2011). Apesar de Aguilar Filho (2011) se concentrar em um período específico, o qual evidencia a ausência de proteção legal e a naturalização da exploração, os mecanismos por ele identificados encontram paralelos com a realidade contemporânea. Nos dados da avaliação social do ciclo de vida da produção orgânica de laranja em Buri e Itapetininga, observa-se que, embora não se trate diretamente de trabalho infantil, há uma continuidade na forma de organização do trabalho, pautado na precarização, informalidade e supressão dos direitos básicos do trabalhador. Essa continuidade sugere que, mesmo quando se adota um modelo produtivo que se propõe alternativo e ambientalmente menos impactante, as relações de poder e a lógica de exploração permanecem inalteradas. A violência institucional e a falta de regulação efetiva foram responsáveis por legitimar relações desiguais e abusivas no campo. Quando esses elementos são transpostos para o cenário atual, eles ajudam a explicar como a produção orgânica, ao mesmo tempo que se posiciona contra os impactos ambientais da agricultura convencional, não necessariamente promove a transformação social no que tange à melhoria das condições de trabalho. A ausência de um aparato regulatório eficaz na fiscalização das condições laborais permite que práticas análogas às aquelas descritas pelo autor supramencionado continuem a permear o sistema produtivo orgânico, perpetuando a marginalização dos trabalhadores.

Ao analisar a lógica subjacente à agricultura orgânica, se identifica que a tentativa de romper com os métodos convencionais não necessariamente rompe com a estrutura de exploração consolidada historicamente. Dessa forma, a agricultura orgânica, enquanto alternativa ambientalmente sustentável, mascara uma precarização que compromete a qualidade de vida e a dignidade dos trabalhadores rurais. Em paralelo, a jornada de trabalho nesse sistema produtivo, longe de ser reduzida ou mais bem regulamentada, muitas vezes se intensifica devido à demanda por métodos manuais e à redução do uso de fertilizantes químicos.

A informalidade presente na produção permite que os produtores estendam a jornada sem compensação proporcional, reforçando a exploração do trabalhador. A intensificação da exploração se dá de maneira indireta, com trabalhadores que, mesmo recebendo um salário menor que o mínimo estabelecido para o Estado de São Paulo, têm suas remunerações mascaradas por benefícios não monetários, como moradia e alimentação. No entanto, esses benefícios não representam um ganho real, pelo contrário, são uma forma de desviar a atenção da precarização salarial (MARX, 2023).

Nos aprofundando nas dinâmicas econômicas relatadas por Marx (2023) se culmina no fetichismo da mercadoria, aqui manifestada na idealização da produção sustentável, que esconde as condições degradantes dos trabalhadores. O consumidor, ao adquirir um produto orgânico, imagina estar contribuindo para um modelo mais justo e sustentável, sem perceber que a exploração da força de trabalho persiste no sistema produtivo ora analisado. Essa contradição estrutural reflete a lógica do capital, enquanto a mercadoria carrega um valor simbólico positivo, os trabalhadores que a produzem permanecem invisíveis, relegados a condições de trabalho que diferem pouco daquelas do agronegócio convencional.

Essa contradição é acentuada quando acrescentada as assertivas de Souza (2019), uma vez que os resultados alcançados pela avaliação social do ciclo de vida, revelam que um trabalhador venezuelano foi contratado sem registro formal e teve seu traslado do país de origem até a propriedade em Buri, financiada pelo empregador, sob a promessa de que os custos seriam descontados do seu 13º salário. Essa prática é tida como uma atualização da lógica escravocrata, onde a exploração do trabalho é mantida, mas sob novas formas de legitimação (SOUZA, 2019). A estrutura histórica de formação da sociedade brasileira faz com que esse tipo de exploração seja mascarado como ajuda e oportunidade, privando o trabalhador de autonomia sobre suas próprias condições de existência (SCHWARCZ; STARLING, 2015; SOUZA, 2019). Os mesmos autores continuam, a perpetuação das desigualdades no Brasil está profundamente ligada a um mecanismo de internalização de valores que legitimam a exploração, denominado como capital cultural. Esse termo engloba um conjunto de discursos, práticas e símbolos que naturalizam estruturas de dominação, fazendo com que sejam percebidas como inevitáveis ou até vantajosas. Se materializando na maneira como a informalidade e a precarização do trabalho são incorporadas como parte intrínseca da dinâmica produtiva, sem questionamentos sobre sua origem ou impacto social. O proprietário da produção em Buri, por exemplo, inicialmente negou a existência de funcionários, apenas admitindo posteriormente que empregou um trabalhador estrangeiro sem documentação formal.

Para justificar a informalidade, alegou a ausência de documentos do empregado, argumento que desconsidera a obrigação legal do empregador de regularizar a situação de seus funcionários (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 1943). Constatando um padrão estrutural, na qual os proprietários dos meios de produção consolidam uma mentalidade em que a exploração laboral é tolerada, e mascarada por discursos que culpabilizam a burocracia do Estado ou as dificuldades do setor, naturalizando a precariedade.

Os estudos sobre o território do Alto Paranapanema, sintetizados por Antunes Junior (2019) e Matheus (2016), demonstram como o capitalismo rural continua a se reconfigurar sem romper com as desigualdades estruturais. Nesse sentido, a informalidade não é uma exceção, mas uma regra estrutural no campo, que favorece os detentores dos meios de produção e prejudica os trabalhadores rurais (ANTUNES JUNIOR, 2019). A resistência dos empregadores em formalizar as relações de trabalho é uma estratégia consciente de maximização do lucro e controle sobre a força de trabalho, aspecto reforçado pelo relato do proprietário de Buri, na qual a ausência de contrato formal é justificada com argumentos que evocam um suposto paternalismo, “eu paguei para ele vir para cá” e “não tinha como assinar a carteira, pois ele não tinha documentos”. Essas falas são identificadas como um mecanismo de desresponsabilização do proprietário, que transfere a culpa da exploração para a própria vítima, ao invés de assumir a responsabilidade pela regularização do trabalho.

Matheus (2016) adiciona nuances relevantes para argumentar que o capitalismo no campo não desaparece, mas se reconfigura para incorporar novas formas de exploração dentro do desenvolvimento sustentável. E os achados esmiuçados nos resultados da avaliação social do ciclo de vida da produção orgânica de laranja em Itapetininga e Buri é uma evidência dessa reconfiguração, onde um modelo de agricultura ambientalmente correto convive com relações laborais baseadas na precarização e na informalidade. A análise do autor sugere que o avanço do capital no campo se dá pela apropriação de discursos de sustentabilidade para legitimar práticas tradicionais de exploração. A informalidade dos trabalhadores na produção de laranja é uma consequência direta de uma lógica econômica que busca reduzir custos de produção e maximizar a extração de mais-valor. Não escapando às contradições do modelo agrícola hegemônico. A informalidade, a exploração de imigrantes e a fragilidade das leis nacionais revelam que a transição para sistemas sustentáveis não garante, por si só, a equidade social. A transformação efetiva exige rupturas com estruturas de poder arraigadas, que perpetuam a invisibilidade do trabalho precário sob novas roupagens ideológicas.

A análise crítica das condições de trabalho em Buri e Itapetininga, portanto, revela que a produção orgânica de laranja não escapa das contradições que afetam o meio rural brasileiro. A retórica de um sistema alternativo, que preza pela sustentabilidade ambiental e pela valorização da produção local, contrasta com a realidade dos trabalhadores, que continuam submetidos a condições laborais degradantes, sem a devida proteção legal e com baixa remuneração. Essa dualidade evidencia a necessidade de uma reavaliação crítica das políticas e práticas institucionais que, mesmo sob o disfarce de sustentabilidade, reproduzem estruturas de exploração históricas. Por fim, a construção de um paradigma que efetivamente integre justiça social e desenvolvimento sustentável exige a intensificação da fiscalização e a ampliação dos direitos trabalhistas, e uma transformação estrutural que rompa com a hegemonia dos interesses dos proprietários frente aos seus trabalhadores. A promoção de uma agricultura orgânica verdadeiramente emancipatória requer a articulação de políticas públicas integradas, que priorizem a formalização do trabalho, a redistribuição de renda e o fortalecimento dos pequenos produtores, de forma a garantir que a alternativa ambiental se traduza em avanços concretos na qualidade de vida dos trabalhadores e na democratização do acesso à terra e aos recursos produtivos. Assim, a contradição instalada no sistema – entre a sua imagem ética e as condições marginais de produção ao trabalhador – evidencia a urgência de uma abordagem que vá além das práticas convencionais, promovendo uma transformação social profunda e efetiva.

8. CONCLUSÕES

8.1. Revisão sistemática de literatura

A fase de revisão de literatura procurou responder a indagação sobre como a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida é aplicada na produção da laranja, após executado os procedimentos metodológicos culminaram-se em quarenta e um artigos amplamente analisados. Houve importantes achados nos artigos estudados, os quais ressaltam a importância de adotar métodos de avaliação do ciclo de vida robustos para avaliar os impactos ambientais e sociais na cadeia de suprimentos da laranja. A variabilidade observada entre diferentes práticas agrícolas sugere uma necessidade urgente de estratégias mais sustentáveis e eficientes em termos de recursos. Recomenda-se que os produtores considerem a transição para práticas orgânicas, integradas ou agroecológicas, visando a redução da pegada de carbono, e a melhoria dos impactos sociais. Além disso, torna-se essencial a participação ativa de todas as partes interessadas para assegurar uma produção responsável e sustentável de laranja.

A integração de práticas sustentáveis em todas as etapas da produção citrícola é crucial. Isso inclui a adoção de práticas agrícolas orgânicas, a gestão eficiente dos recursos hídricos, a redução do uso de produtos químicos e a otimização de processos de transporte e logística. A aplicação de tecnologias inovadoras, como a utilização de resíduos de laranja para produção de biogás ou a implementação de sistemas de energia renovável, pode oferecer uma redução significativa dos impactos ambientais e melhorar a eficiência energética. Adicionalmente, os estudos direcionam para o envolvimento comunitário e a implementação de políticas públicas focadas na sustentabilidade, que são fundamentais para garantir uma produção responsável, respeitando os direitos dos trabalhadores e as necessidades das comunidades locais. Neste contexto, a criação de legislação e diretrizes claras, baseadas nos resultados das diferentes avaliações do ciclo de vida encontradas nessa revisão, pode auxiliar produtores e processadores de laranja a tomarem decisões mais informadas e ambientalmente responsáveis.

A gestão eficiente dos resíduos de cascas de laranja emerge como um aspecto crucial para reduzir o impacto ambiental e melhorar a sustentabilidade do setor. A valorização desses resíduos oferece um potencial ganho econômico, abrindo possibilidades para novos produtos e mercados. Embora existam desafios, como a necessidade de otimizar o consumo de energia e a eficiência do processo, as oportunidades para inovação e melhoria são evidentes. A necessidade de adotar práticas agrícolas mais sustentáveis é enfatizada, especialmente para reduzir a toxicidade humana e ambiental e minimizar as contribuições para as mudanças climáticas. Pesquisas adicionais são necessárias para explorar alternativas viáveis aos métodos convencionais de produção de laranja, focando na redução da toxicidade e no impacto climático. Em síntese, estratégias que envolvem biorefinarias e práticas agrícolas sustentáveis desempenham um papel relevante na redução do impacto da agricultura nas mudanças climáticas. A digestão anaeróbia surge como uma solução promissora, para a gestão de resíduos e como um meio de produzir energia renovável e reduzir emissões. A integração dessas práticas agrícolas sustentáveis com tecnologias de biorefinarias oferece um caminho viável para uma agricultura mais verde e economicamente eficaz.

A revisão de literatura contribui com a produção de laranja, proporcionando uma visão geral da abordagem ambiental, econômica e social do ciclo de vida, evidenciando as contribuições que a aplicação dessa ferramenta pode proporcionar ao auxiliar com uma produção mais limpa e sustentável.

O fator limitador circunscreve-se, fundamentalmente, em não haver aplicação explícita da avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida a produção de laranja orgânica. Embora

existam estudos que apliquem a avaliação ambiental, de custeio e social do ciclo de vida a não vinculação entre essas três abordagens limita as possibilidades de análise dos estudos para a contribuição de uma produção de laranja sustentável. Não obstante, o mesmo fator limitador, serve como base para realizar a aplicação da sustentabilidade do ciclo de vida, ressaltando-se a necessidade de promover a aplicação da referida abordagem. Visando ação proativa para mitigar os impactos do cultivo de laranja e a internalização de estratégias pautadas em produção sustentável de laranja.

8.2. Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida

8.2.1. Avaliação ambiental do ciclo de vida

A avaliação ambiental dos sistemas de produção orgânica em Buri e Itapetininga proporcionou achados significativos para compreender os impactos ambientais da citricultura orgânica sob uma perspectiva de avaliação de ciclo de vida. Os resultados mostram uma variedade de impactos ambientais associados à produção de laranjas orgânicas, com diferenciais importantes em relação às práticas convencionais. Entre os principais achados, destacam-se os impactos relacionados às mudanças climáticas em curto prazo, que foram substancialmente superiores às emissões em longo prazo. Para a produção em Buri, as emissões atingiram $1,32 \times 10^{+00}$ kg CO₂ eq. no curto prazo, enquanto, para Itapetininga, o valor foi de $1,26 \times 10^{+00}$ kg CO₂ eq. Esses valores elevados são predominantemente resultantes do manejo animal vinculado ao uso intensivo de fertilizantes orgânicos, principalmente esterco bovino leiteiro, que por sua vez depende de alimentação proveniente de monoculturas. Uma contribuição significativa do sistema orgânico avaliado foi observada no uso de energia fóssil e nuclear, que apresentou valores consideráveis, $2,39 \times 10^{+01}$ MJ privados para Buri e $1,38 \times 10^{+01}$ MJ privados para Itapetininga. Este resultado evidencia uma dependência ainda elevada de combustíveis fósseis, particularmente diesel utilizado em maquinários agrícolas, destacando um potencial ponto de melhoria para futuras intervenções visando eficiência energética e uso de energias renováveis.

Aspectos positivos foram claramente evidenciados em categorias como toxicidade humana não-cancerígena, transformação de terras e acidificação de água doce. Particularmente, os valores negativos encontrados nessas categorias revelam que práticas orgânicas têm um impacto ambiental positivo, especialmente pela exclusão de substâncias sintéticas perigosas e pela regeneração parcial de áreas agrícolas anteriormente degradadas. Em contrapartida,

categorias como ecotoxicidade em água doce e escassez hídrica apresentaram resultados preocupantes. Especificamente, a ecotoxicidade apresentou valor elevado, de $3,19 \times 10^{+04}$ CTUe em Buri, refletindo a necessidade de um manejo mais rigoroso dos insumos orgânicos utilizados, potencialmente relacionados ao manejo animal e resíduos associados. Quanto à ocupação da terra, o impacto ambiental negativo foi elevado, principalmente pela necessidade de maiores áreas produtivas devido à menor produtividade por unidade de área da produção orgânica. Contudo, a transformação da terra apresentou resultados ambientais positivos, indicando regeneração ecológica e recuperação parcial de áreas anteriormente degradadas.

Reforçando a importância da produção orgânica como alternativa ambientalmente benéfica, e revela desafios que precisam ser abordados para a melhoria contínua dos sistemas produtivos sustentáveis. Dessa forma, a pesquisa apresentada avança na compreensão científica e serve como base para formulação de políticas públicas voltadas ao incentivo da agricultura orgânica, reconhecendo tanto suas vantagens ambientais quanto os aspectos que demandam aperfeiçoamento.

8.2.2. Custeio do ciclo de vida

A análise do custeio do ciclo de vida das produções orgânicas de laranja nas localidades de Buri e Itapetininga permitiu evidenciar aspectos fundamentais e esclarecedores, que proporcionam informações relevantes sobre as particularidades econômicas e gerenciais envolvidas nesse tipo de atividade agrícola. A produção orgânica em Buri apresenta um custo operacional anual total de US\$ 1.622,70 e um custo total, incluindo renda dos fatores, de US\$ 2.709,70. Destaca-se que o maior impacto nas despesas de custeio ocorre em outros: embalagens/utensílios, análise de solo e demais despesas, que representam 66,07% das despesas totais. Já os custos fixos são majoritariamente impactados pela manutenção periódica de benfeitorias/instalações, representando 99,99% desse item, com um custo significativo de US\$ 1.232,00. Em contrapartida, a produção orgânica em Itapetininga, apesar de ter uma receita maior, US\$ 652,82 negativos, indicando entradas superiores às saídas, possui custos operacionais anuais mais elevados, totalizando US\$ 2.953,05 e um custo total consideravelmente superior, de US\$ 5.850,52. Aqui, os custos variáveis apresentam maior peso 62,11%, especialmente devido ao alto valor relacionado às sementes e mudas de US\$ 185,46, e aos custos associados à contribuição especial para a seguridade social rural com US\$ 811,35. Assim como em Buri, a manutenção periódica de benfeitorias/instalações é um item de custo fixo significativo, correspondendo a 99,99% do total.

Os resultados são fortes ao evidenciar claramente como o manejo preventivo e a manutenção periódica das instalações e benfeitorias são estratégicos para reduzir os custos totais e garantir a sustentabilidade econômica do empreendimento orgânico, conforme sugerido por Garrison, Noreen e Brewer (2013). Além disso, reforça-se a relevância da inclusão de custos indiretos, como o uso da terra própria, que em Itapetininga é responsável por 99,85% dos custos relacionados à renda de fatores, contribuindo para uma visão integrada e realista da rentabilidade agrícola.

O custeio do ciclo de vida, como parte integrante da sustentabilidade do ciclo de vida, aprofunda os resultados sobre sustentabilidade econômica na agricultura orgânica, oferecendo subsídios práticos e conceituais importantes para a tomada de decisões estratégicas no setor orgânico brasileiro.

8.2.3. Avaliação social do ciclo de vida

Os dados da avaliação social do ciclo de vida acerca das produções orgânicas de laranja nos municípios de Buri e Itapetininga apresentam importantes contribuições para o conhecimento científico brasileiro. As conclusões apontam para questões cruciais quanto às práticas trabalhistas e sociais existentes nestas propriedades, com implicações diretas na avaliação e gestão socioambiental da produção agrícola regional. As condições identificadas nesta propriedade revelam uma situação preocupante em termos trabalhistas, envolvendo um trabalhador estrangeiro submetido a condições precárias e exploratórias. Apesar da tentativa do empregador em mitigar essa realidade por meio do fornecimento de moradia, alimentos e utilidades, o fato do salário estar abaixo do mínimo estadual vigente e a ausência de formalização contratual evidenciam graves irregularidades trabalhistas. Além disso, a intenção manifestada de realizar deduções no 13º salário referente à migração do trabalhador, ainda que não concretizada, caracteriza-se como exploração econômica. Ademais, a flexibilidade de jornada relatada é prejudicada pela exigência de compensação de tempo utilizado na regularização migratória, expondo uma clara dinâmica de subordinação e controle.

Por outro lado, na produção buriense, há pontos positivos relacionados à ausência de acidentes fatais e ao fornecimento de equipamentos de proteção individual. Entretanto, a inexistência de regras claras e formais sobre segurança do trabalho e saúde ocupacional limita significativamente a proteção efetiva ao trabalhador, evidenciando lacunas críticas em relação ao cumprimento das normas regulamentadoras brasileiras, NR-1, NR-7, NR-15 e NR-17. Na propriedade de Itapetininga, os resultados demonstram uma situação relativamente melhor do

ponto de vista salarial, sendo o valor pago superior ao proporcional do salário mínimo estadual para as horas trabalhadas, além de não haver descontos indevidos. Contudo, a ausência de registro formal do trabalhador mantém-se como uma lacuna importante, restringindo direitos sociais básicos como acesso à previdência social e aposentadoria. Quanto às horas de trabalho e flexibilidade, o produtor de Itapetininga mantém práticas adequadas, cumprindo integralmente as normas legais de carga horária e aproveitamento dos feriados, porém falha ao não ter qualquer sistema de controle formal para horas extras, comprometendo a comprovação documental dos direitos trabalhistas.

No tocante ao trabalho forçado, ambas as propriedades têm indicadores negativos significativos pela ausência formal de contratos de trabalho, com uma situação particularmente crítica identificada em Buri, devido à dependência financeira e vulnerabilidade imposta ao trabalhador estrangeiro. As lacunas identificadas são evidentes e refletem desafios estruturais ainda enfrentados na produção orgânica. A não formalização das relações trabalhistas aparece como um problema central, assim como práticas informais ou inadequadas quanto à saúde e segurança ocupacional, comprometendo significativamente a sustentabilidade social da produção agrícola orgânica estudada.

Ao demonstrar claramente o impacto negativo das práticas trabalhistas informais e das condições inadequadas em segurança e saúde, esta pesquisa oferece subsídios concretos para aprimorar metodologias futuras na avaliação social do ciclo de vida. Evidencia a importância de indicadores sensíveis às condições reais de trabalho, especialmente no contexto dos pequenos produtores orgânicos, onde frequentemente empregador e trabalhador coincidem. Desta forma, o estudo reforça a necessidade de desenvolver políticas específicas para garantir que a sustentabilidade social seja realmente integrada ao conceito de produção orgânica sustentável, contribuindo, assim, para a construção de um setor agrícola mais ético e sustentável no Brasil.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais desta dissertação sobre a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida evidenciam a relevância e as complexidades associadas à produção orgânica de laranja quanto as avaliações ambientais, de custeio e social do ciclo de vida. Oferecendo ainda um relatório técnico simplificado de todos os resultados alcançados aos produtores analisados, como forma de contribuir com o processo produtivo para estimular a mudança de perspectivas

positivamente em âmbito social, ambiental e econômico, por meio dos APÊNDICE 7 e APÊNDICE 8.

Em comparação à produção convencional, visando determinar qual modelo oferece menores impactos ambientais potenciais, com a avaliação ambiental do ciclo de vida em ênfase a análise detalhada das produções orgânicas em Buri e Itapetininga mostrou resultados expressivos que reforçam as vantagens ambientais do modelo orgânico em relação ao convencional, embora também tenha revelado alguns desafios importantes. Destacam-se positivamente aspectos como a baixa toxicidade humana, cancerígena e não-cancerígena, reduzida acidificação das águas e do solo, bem como a recuperação parcial das áreas degradadas, transformação de terras negativa: $-1,16 \times 10^{+00}$ m² eq. em Buri e $-6,40 \times 10^{-01}$ m² em Itapetininga, indicando a regeneração ambiental como resultado da transição para métodos de cultivo orgânicos. Contudo, observou-se que o sistema orgânico ainda apresenta elevada dependência energética de fontes fósseis, sendo registrados valores de $2,39 \times 10^{+01}$ MJ privados em Buri e $1,38 \times 10^{+01}$ MJ privados em Itapetininga, apontando uma clara lacuna na sustentabilidade energética desses sistemas. A dependência significativa do esterco bovino como fertilizante orgânico revelou-se um ponto crítico, contribuindo substancialmente para impactos ambientais negativos, como as mudanças climáticas, $1,32 \times 10^{+00}$ kg CO₂ eq. de curto prazo em Buri e $1,26 \times 10^{+00}$ kg CO₂ eq. em Itapetininga, e alta ecotoxicidade em água doce, $3,19 \times 10^{+04}$ CTUe em Buri e $1,76 \times 10^{+04}$ CTUe em Itapetininga. A ocupação de terras também foi elevada, especialmente em Buri com $7,40 \times 10^{+00}$ m² de terras aráveis eq.ano, refletindo a maior necessidade de área em sistemas menos intensivos.

A análise de sensibilidade com substituição do esterco bovino pelo esterco de galinha evidenciou reduções significativas nos impactos ambientais em diversas categorias críticas, com destaque para a mudança climática de curto prazo, com redução de até 35% e para a ecotoxicidade em água doce, que alcançou reduções próximas a 20%. Este cenário alternativo sugere claramente um caminho para reduzir a pegada ambiental da produção orgânica, desvinculando-se progressivamente da pecuária bovina intensiva.

A comparação entre os sistemas produtivos orgânicos e convencionais por meio da metodologia de custeio do ciclo de vida, abrangendo integralmente os custos internos de produção e manutenção do plantio proporcionou evidências que a produção orgânica de laranja apresenta desafios substanciais relacionados principalmente aos elevados custos fixos, sobretudo com manutenção periódica de benfeitorias e o custo de oportunidade da terra própria.

Os resultados indicam que, em Buri, o custo operacional anual alcança US\$ 1.622,70, enquanto em Itapetininga, esse valor é significativamente maior, atingindo US\$ 4.954,36. O elevado impacto dos custos fixos na estrutura de custos totais fica evidente, com destaque para a manutenção periódica de benfeitorias/instalações, responsável por 99,99% desse grupo de custos, gerando gastos anuais de US\$ 1.232,00 em Buri e US\$ 1.309,09 em Itapetininga. Esses custos elevados de manutenção preventiva são simultaneamente um ponto forte e fraco da produção orgânica. Fortes porque demonstram uma atitude de prevenção de problemas, que previne despesas futuras maiores com manutenção corretiva, mas, simultaneamente, são pontos fracos por exigirem significativa imobilização de recursos financeiros que poderiam ser direcionados à inovação ou expansão produtiva. Outro ponto crítico é a elevada participação da renda de fatores vinculada à terra própria, que atinge 40,04% em Buri e 49,42% em Itapetininga. Esse custo reflete diretamente o custo de oportunidade associado à escolha por atividades agrícolas sustentáveis, que geralmente possuem ciclos mais longos para retorno financeiro. Os resultados identificados destacam a sensibilidade dos sistemas orgânicos à falta de escala produtiva, resultando em dificuldades para diluir custos fixos elevados, conforme apontam os estudos de Falcone et al. (2020) e Garrison, Noreen e Brewer (2013). Além disso, a ausência de financiamento específico para a produção orgânica limita investimentos em tecnologias eficientes, aumentando a vulnerabilidade econômica desses produtores.

A avaliação social do ciclo de vida avaliou comparativamente os impactos sociais associados à produção de laranja orgânica e convencional, com ênfase específica no estágio produtivo e nas condições vivenciadas pelos trabalhadores rurais. Esta análise busca determinar qual sistema produtivo demonstra maior contribuição para as práticas sustentáveis e responsabilidade social entre os produtores. Concluída sua execução é possível constatar que as produções orgânicas de laranja em Buri e Itapetininga possuem contradições significativas quanto à responsabilidade social atribuída ao sistema produtivo orgânico. Em Buri, constatou-se graves irregularidades trabalhistas, como a contratação informal de um trabalhador estrangeiro, com remuneração mensal abaixo do salário-mínimo estadual vigente, além de intenções inadequadas de desconto salarial relacionadas ao traslado do trabalhador estrangeiro. Tais práticas refletem exploração econômica e vulnerabilidade acentuada. Em Itapetininga, as condições mostraram-se relativamente melhores, com um trabalhador remunerado adequadamente, sem deduções ilegais. Entretanto, persistiu a ausência de registro formal em carteira de trabalho, limitando significativamente os direitos sociais e previdenciários do empregado.

Ambos os casos evidenciam desafios estruturais na produção orgânica, particularmente no que concerne à formalização trabalhista. Enquanto os indicadores relacionados à carga horária foram respeitados em ambas as localidades, as falhas identificadas em registros e documentação de horas extras, bem como a inadequação das práticas de segurança e saúde ocupacional, expõem o trabalhador a riscos desnecessários.

Os resultados evidenciam uma problemática central da produção orgânica, que embora se posicione sob a bandeira da sustentabilidade ambiental, ainda mantém relações trabalhistas historicamente exploratórias. A informalidade e precarização presentes especialmente em Buri ilustram a perpetuação de práticas que remetem à servidão por dívida, refletindo uma exploração mascarada por discursos paternalistas. Esses achados reforçam a percepção de que a agricultura orgânica, apesar de ser ambientalmente preferível ao modelo convencional, não garante automaticamente condições socialmente sustentáveis para os trabalhadores. A ausência de formalização dos contratos trabalhistas e práticas informais de segurança refletem profundas lacunas éticas e legais que comprometem a verdadeira sustentabilidade social dos sistemas orgânicos estudados.

Este estudo contribui para o campo científico brasileiro ao expor as condições reais das práticas sociais e trabalhistas em produções orgânicas, servindo como referência crítica para a avaliação social do ciclo de vida. A pesquisa evidencia a necessidade urgente de políticas públicas e mecanismos de fiscalização mais eficazes para garantir a formalização das relações laborais e a proteção dos direitos fundamentais dos trabalhadores rurais. Destaca-se a importância vital de integrar efetivamente a responsabilidade social às práticas agrícolas sustentáveis. A produção orgânica, para ser plenamente sustentável, precisa superar práticas exploratórias e informais, promovendo condições dignas e justas de trabalho. Esta mudança estrutural beneficiaria os trabalhadores diretamente envolvidos, e também fortaleceria a legitimidade e o alcance social do sistema produtivo orgânico, reforçando seu papel na construção de uma agricultura verdadeiramente ética e sustentável.

9.1. Perspectivas futuras

A avaliação ambiental do ciclo de vida pode ser aprofundada em estudos futuros por meio de análise comparativa de número maior de propriedades orgânicas frente a sistemas convencionais, ampliando a compreensão sobre como diferentes práticas orgânicas podem reduzir impactos ambientais específicos, especialmente relacionados a forma de cultivo de distintas culturas agrícolas, utilização de energias renováveis e alternativas de fertilização

orgânica, como compostagem e biofertilizantes de menor impacto ecológico. Além de ampliar a fronteira do sistema para alcançar do berço ao túmulo na produção, e ir mais adiante, considerando todas as culturas existentes na produção agrícola orgânica.

No tocante ao custeio ao longo do ciclo de vida, é fundamental avançar em estudos que avaliem a incorporação de pagamentos por serviços ecossistêmicos e créditos de carbono. Esses mecanismos diversificam as fontes de receita, reduzem os custos operacionais totais e reforçam a sustentabilidade econômica da produção. Ao integrar pagamentos por serviços ecossistêmicos e créditos de carbono à análise de sustentabilidade econômica, os sistemas orgânicos podem se tornar mais viáveis, bem como competitivos e atraentes do ponto de vista financeiro. Nesse contexto, integrar as atividades produtivas ao Plano Estadual de Agroecologia e Produção Orgânica de São Paulo (PEAPO-SP), cria um ambiente propício para os produtores orgânicos acessarem assistência técnica, linhas de crédito diferenciadas, incentivos fiscais e canais de comercialização mais estáveis, inclusive compras públicas destinadas à merenda escolar e a programas de segurança alimentar. Entre suas diretrizes, destacam-se a estruturação de circuitos curtos de comercialização, pilares que ampliam a escala produtiva sem comprometer a autonomia dos agricultores familiares. Como complemento, o Programa Cesta Verde adquire alimentos frescos de agricultores familiares e os destina a famílias em situação de vulnerabilidade. Ao garantir fluxo de caixa regular e preços justos, o programa contribui para amortizar os custos produtivos, fortalecer circuitos locais e valorizar a produção orgânica e agroecológica. Para escalar ainda mais a produção orgânica de laranja, a literatura evidencia que associações de microprodutores e cadeias de suprimento baseadas em valores são decisivas, pois elas reduzem a tensão entre autonomia individual e cooperação, geram confiança e facilitam o acesso a mercados diferenciados. Já no campo da financeirização, o uso de títulos verdes e de certificados de recebíveis da agricultura rotuladas como sustentáveis possibilita canalizar capital privado para iniciativas de baixo carbono, exatamente o perfil da citricultura orgânica.

A avaliação social do ciclo de vida demonstrou lacunas que podem ser abordadas em pesquisas futuras, por meio de avaliações mais aprofundadas envolvendo diretamente os trabalhadores, o que não ocorreu na presente pesquisa, oferecendo uma visão completa da experiência laboral, além de análise ampliada da relação entre informalidade trabalhista e vulnerabilidade econômica, especialmente entre trabalhadores migrantes. Estudos sobre implementação e efeitos da formalização das relações trabalhistas na agricultura orgânica. E,

aprofundamento na avaliação de sustentabilidade do ciclo de vida com indicadores sociais mais detalhados e sensíveis, envolvendo outras partes interessadas.

REFERÊNCIAS

- (SEADE), Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Seade Municípios**. 2022. Disponível em: <https://municipios.seade.gov.br/economia/>. Acesso em: 23 sep. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Resolução nº. 894, de 18 de novembro de 2022. . 2022.
- AGUILAR FILHO, Sidney. **Educação, autoritarismo e eugenia: exploração do trabalho e violência à infância desamparada no Brasil (1930-1945)**. 2011. Universidade Estadual de Campinas, [S. l.], 2011. Disponível em: https://docs.google.com/file/d/0B_ki-PFVTudPQmU2TG1Sd2lCZ1U/edit?resourcekey=0-PfeNz46DbgoRKd48TTBsAg.
- AKOSAH, D. K.; ADJEI-NSIAH, S.; BRENTU, F. C. Response of Late Valencia Sweet Orange (Citrus Sinensis (L.) Osbeck) to Fertilization on Acrisols of the Semi-Deciduous Forest Agro-Ecological Zone of Ghana. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, [S. l.], v. 52, n. 11, p. 1275–1285, 2021. DOI: 10.1080/00103624.2021.1879125. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2021.1879125>.
- ALISHAH, Ali; MOTEVALI, Ali; TABATABAEEKOLOOR, Reza; HASHEMI, Seyyed Jafar. Multiyear life energy and life cycle assessment of orange production in Iran. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 26, n. 31, p. 32432–32445, 2019. DOI: 10.1007/s11356-019-06344-y.
- ANDREWS et al. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. [s.l: s.n.].
- ANTUNES JUNIOR, Wolney Felipe. Território Sudoeste Paulista: entre conflitos, relações de poder e identidades - notas de uma pesquisa. **Revista Rural & Urbano**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 1–14, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Wolney-Antunes-Junior/publication/339916306_Territorio_Sudoeste_Paulista_Entre_conflitos_relacoes_de_poder_e_identidades_-_Notas_de_uma_pesquisa/links/5e6bf75d458515e555794067/Territorio-Sudoeste-Paulista-Entre-conflit.
- AQUINO, Joacir Rufino De; GAZOLLA, Marcio; SCHNEIDER, Sergio. Dualismo no Campo e Desigualdades Internas na Agricultura Familiar Brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [S. l.], v. 56, n. 1, p. 123–142, 2018. DOI: 10.1590/1234-56781806-94790560108. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032018000100123&lng=pt&tlng=pt.
- ARULNATHAN, Vivek; HEIDARI, Mohammad Davoud; DOYON, Maurice; LI, Eric P. H.; PELLETIER, Nathan. Economic Indicators for Life Cycle Sustainability Assessment: Going beyond Life Cycle Costing. **Sustainability**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 13, 2022. DOI: 10.3390/su15010013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/13>.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei número 17.692 de maio de 2023. . 2023.
- ASSIS, Renato Linhares De; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. O processo de conversão de sistemas de produção de hortaliças convencionais para orgânicos. **Revista de Administração Pública**, [S. l.], v. 41, n. 5, p. 863–885, 2007. DOI: 10.1590/S0034-76122007000500004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122007000500004&lng=pt&tlng=pt.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14040 - Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. . 2014 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Requisitos e orientações. . 2014 b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Processos de análise crítica e competências do analista: Requisitos adicionais e diretrizes para a ABNT NBR ISO 14044:2009Brasil, 2019. p. 12.

ATENSTAEDT, Rob. Word cloud analysis of the BJGP: 5 years on. **British Journal of General Practice**, [S. l.], v. 67, n. 658, p. 231–232, 2017. DOI: 10.3399/bjgp17X690833. Disponível em: <https://bjgp.org/lookup/doi/10.3399/bjgp17X690833>.

ATIA, Noha Gawdat; BASSILY, Makram A.; ELAMER, Ahmed A. Do life-cycle costing and assessment integration support decision-making towards sustainable development? **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 267, p. 122056, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122056. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965262032103X>.

ATKINSON-CLEMENT, Cyril et al. How does Tourette syndrome impact adolescents' daily living? A text mining study. **European Child and Adolescent Psychiatry**, [S. l.], v. 32, n. 12, p. 2623–2635, 2022. DOI: 10.1007/s00787-022-02116-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00787-022-02116-1>.

BAIS-MOLEMAN, Anna Liza; SIKKEMA, Richard; VIS, Martijn; REUMERMAN, Patrick; THEURL, Michaela C.; ERB, Karl Heinz. Assessing wood use efficiency and greenhouse gas emissions of wood product cascading in the European Union. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 172, p. 3942–3954, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.153. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.153>.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cotações e boletins**. 2024. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes>. Acesso em: 9 sep. 2024.

BARBIERI, Pietro; PELLERIN, Sylvain; NESME, Thomas. Comparing crop rotations between organic and conventional farming. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 13761, 2017. DOI: 10.1038/s41598-017-14271-6. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-14271-6>.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2011.

BATALHA, Mário Otávio et al. **Gestão agroindustrial**. 4. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2021. v. 5

BECCALI, Marco; CELLURA, Maurizio; IUDICELLO, Maria; MISTRETTA, Marina. Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 91, n. 7, p. 1415–1428, 2010. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.02.028. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.02.028>.

BELARMINO, Luiz Clovis. **Avaliações econômicas dos sistemas de produção de laranja convencional, orgânico e agroflorestal**. Pelotas. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/170705/1/Documento-448.pdf>.

BELTRAME, Gabriela; PEREIRA, Breno Augusto Diniz. Impactos Socioeconômicos

Ocasionados pelo PRONAF para o Desenvolvimento da Agricultura Familiar.

Desenvolvimento em Questão, [S. l.], v. 15, n. 38, p. 87, 2017. DOI: 10.21527/2237-6453.2017.38.87-107. Disponível em:

<https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/5542>.

BEN ABDALLAH, Saker; GALLEGU-ELVIRA, Belén; IMBERNÓN-MULERO, Alberto; MARTÍNEZ-ALVAREZ, Victoriano; MAESTRE-VALERO, Jose. Environmental footprint of organic and conventional grapefruit production irrigated with desalinated seawater in Spain. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 39, n. May, p. 326–335, 2023. DOI: 10.1016/j.spc.2023.05.023.

BEN ABDALLAH, Saker; PARRA-LÓPEZ, Carlos; ELFKIH, Saida; SUÁREZ-REY, Elisa M.; ROMERO-GÁMEZ, Mercedes. Sustainability assessment of traditional, intensive and highly-intensive olive growing systems in Tunisia by integrating Life Cycle and Multicriteria Decision analyses. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 33, p. 73–87, 2022. DOI: 10.1016/j.spc.2022.06.022.

BEN HSOUNA, Anis et al. The Chemical Variability, Nutraceutical Value, and Food-Industry and Cosmetic Applications of Citrus Plants: A Critical Review. **Antioxidants**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 481, 2023. DOI: 10.3390/antiox12020481. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3921/12/2/481>.

BENACH, J.; VIVES, A.; AMABLE, M.; VANROELEN, C.; TARAF, G.; MUNTANER, C. Precarious Employment: Understanding an Emerging Social Determinant of Health. **Annual Review of Public Health**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 229–253, 2014. DOI: 10.1146/annurev-publhealth-032013-182500. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-publhealth-032013-182500>.

BESERRA, Lucimara; HENNINGTON, Élide Azevedo; PIGNATTI, Marta Gislene. Condições de trabalho e saúde de trabalhadoras rurais: uma revisão integrativa. **Saúde em Debate**, [S. l.], v. 47, n. 137, p. 298–315, 2023. DOI: 10.1590/0103-1104202313721. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-11042023000200298&tlng=pt.

BONALES-REVUELTA, Joel; MUSULE, Ricardo; NAVARRO-PINEDA, Freddy S.; GARCÍA, Carlos A. Evaluating the environmental performance of orange production in Veracruz, Mexico: A life cycle assessment approach. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 343, n. September 2021, p. 131002, 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131002>.

BORSATTO, Ricardo Serra. AGROECOLOGIA E A CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA ALIMENTAR CONTRA-HEGEMÔNICO. In: **Caderno Comunica - Volume 1**. [s.l.] : Editora Científica Digital, 2022. p. 83–90. DOI: 10.37885/220508938. Disponível em: <http://www.editoracientifica.com.br/articles/code/220508938>.

BOSCHIERO, Martina; DE LAURENTIIS, Valeria; CALDEIRA, Carla; SALA, Serenella. Comparison of organic and conventional cropping systems: A systematic review of life cycle assessment studies. **Environmental Impact Assessment Review**, [S. l.], v. 102, n. June, p. 107187, 2023. DOI: 10.1016/j.eiar.2023.107187. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107187>.

BOTELHO, Sônia Maria; VELOSO, Carlos Alberto Costa; RODRIGUES, João Elias Lopes Fernandes; FERREIRA, Eric Victor de Oliveira. Fertilizantes orgânicos. In: BRASIL, Edilson Carvalho; CRAVO, Manoel da Silva; VIÉGAS, Ismael de Jesus Matos (eds.).

Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. 2. ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2020. p. 424. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127241/1/LV-RecomendacaoSolo-2020-95-105.pdf>.

BOŽIĆ, Jasmina. Scaling Up Organic Agricultural Enterprises: An Empirical Study of the Role of Associations of Micro Producers. **Business Systems Research Journal**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 253–273, 2024. DOI: 10.2478/bsrj-2024-0012. Disponível em: <https://www.sciendo.com/article/10.2478/bsrj-2024-0012>.

BRANS, Jean-Pierre; DE SMET, Yves. PROMETHEE Methods. *In*: [s.l: s.n.]. p. 187–219. DOI: 10.1007/978-1-4939-3094-4_6. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-1-4939-3094-4_6.

BRASIL. Decreto lei nº. 5.452, de 1º de maio de 1943. . 1943, p. 5.452.

BRECKA, Aaron F. J.; SHAHI, Chander; CHEN, Han Y. H. Climate change impacts on boreal forest timber supply. **Forest Policy and Economics**, [S. l.], v. 92, n. October 2017, p. 11–21, 2018. DOI: 10.1016/j.forpol.2018.03.010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2018.03.010>.

BUGGE, Markus; HANSEN, Teis; KLITKOU, Antje. What Is the Bioeconomy? A Review of the Literature. **Sustainability**, [S. l.], v. 8, n. 7, p. 691, 2016. DOI: 10.3390/su8070691. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/7/691>.

BULLE, Cécile et al. IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 24, n. 9, p. 1653–1674, 2019. DOI: 10.1007/s11367-019-01583-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-019-01583-0>.

BUSTOS, Paula; CAPRETTINI, Bruno; PONTICELLI, Jacopo. Agricultural productivity and structural transformation: Evidence from Brazil. **American Economic Review**, [S. l.], v. 106, n. 6, p. 1320–1365, 2016. DOI: 10.1257/aer.20131061.

CABOT, María Inés; LADO, Joanna; BAUTISTA, Inmaculada; RIBAL, Javier; SANJUÁN, Neus. On the relevance of site specificity and temporal variability in agricultural LCA: a case study on mandarin in North Uruguay. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 28, n. 11, p. 1516–1532, 2023. DOI: 10.1007/s11367-023-02186-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02186-6>.

CABOT, María Inés; LADO, Joanna; CLEMENTE, Gabriela; SANJUÁN, Neus. Towards harmonised and regionalised life cycle assessment of fruits: A review on citrus fruit. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 33, p. 567–585, 2022. DOI: 10.1016/j.spc.2022.07.024. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352550922001981>.

CABOT, María Inés; LADO, Joanna; SANJUÁN, Neus. Multi-season environmental life cycle assessment of lemons: A case study in south Uruguay. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 326, n. August 2022, 2023. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116719.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. Lei número 14.663 de 28 de agosto de 2023. . 2023.

CASELANI, Kelly. Resíduos de agrotóxicos e metais pesados na nutrição de bovinos. **Veterinária em Foco**, [S. l.], v. 12, n. 2, p. 101–118, 2015. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/veterinaria/article/download/1816/1569>.

CAUCHICK MIGUEL, Paulo Augusto et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=JO1oDwAAQBAJ>.

CHAKRAVARTY, Shourish; WADE, Tara. Cost Analysis of Using Cover Crops in Citrus Production. **HortTechnology**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 278–285, 2023. DOI: 10.21273/HORTTECH05126-22.

CHEN, Zhenhua. Socioeconomic Impacts of high-speed rail: A bibliometric analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, [S. l.], v. 85, p. 101265, 2023. DOI: 10.1016/j.seps.2022.101265. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S003801212200043X>.

CHHIPI-SHRESTHA, Gyan Kumar; HEWAGE, Kasun; SADIQ, Rehan. ‘Socializing’ sustainability: a critical review on current development status of social life cycle impact assessment method. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 579–596, 2015. DOI: 10.1007/s10098-014-0841-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10098-014-0841-5>.

CIMINI, Alessio. Evolution of the Global Scientific Research on the Environmental Impact of Food Production from 1970 to 2020. **Sustainability**, [S. l.], v. 13, n. 21, p. 11633, 2021. DOI: 10.3390/su132111633. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/21/11633>.

CINELLI, Marco; COLES, Stuart R.; KIRWAN, Kerry. Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 46, p. 138–148, 2014. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.06.011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.011>.

CIROTH, Andreas; FRANZE, Juliane. **LCA of an Ecolabeled notebook: consideration of social and environmental impacts along the entire life cycle**. Brussels: GreenDeltaTC GmbH, 2011. Disponível em: https://www.greendelta.com/wp-content/uploads/2017/03/LCA_laptop_final.pdf.

CIROTH, Andreas; HUPPES, Gjalt; KLÖPPFER, Walter; RÜDENAUER, Ina; STEEN, Bengt; SWARR, Thomas. **Environmental Life Cycle Costing**. 1. ed. Pensacol: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), 2008.

COBOS, Angelica Geovanna Zea; BYKBAEV, Yaroslava Robles; FARFÁN, Fredi Portila; PEREZ, Pablo Caballero. Evaluation of pesticide contamination risks and sustainable practices in Ecuadorian agriculture. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 26034, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-76733-y. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-76733-y>.

COELHO, Bruno Emanuel Souza; DUARTE, Valéria Medrado; SILVA, Laurenille Ferreira Moraes Da; SOUSA, Karla dos Santos Melo De; FIGUEIREDO NETO, Acácio. Atributos físico-químicos de frutos de laranja “Pêra” produzidos sob sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 128–137, 2019. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/180/162>.

COLTRO, Leda; MOURAD, Anna Lúcia; KLETECKE, Rojane M.; MENDONÇA, Taíssa A.; GERMER, Sílvia P. M. **Assessing the environmental profile of orange production in Brazil**. 2009. DOI: 10.1007/s11367-009-0097-1.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Norma metodologia do custo de produção 30.302. . 2018, p. 30.302.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Série Histórica - Custos - Laranja - 2008 a 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/16297-serie-historica-custos-laranja-2011-a-2020>. Acesso em: 15 aug. 2024.

CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, Sérgio Luis Da. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolviemnto de Produto - CNGDP 2011**, [S. l.], n. 1998, p. 1–12, 2011. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/9149.pdf>.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. Resolução nº. 510, de 07 de abril de 2016. . 2016, p. 510.

CORDELLA, Mauro; HORN, Rafael; HONG, Sun Hea; BIANCHI, Marco; ISASA, Marina; HARMENS, Rosan; SONDEREGGER, Thomas; PIHKOLA, Hanna. Addressing sustainable development goals in life cycle sustainable assessment: Synergies, challenges and needs. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 415, n. April, p. 137719, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.137719. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137719>.

COSTA, Alline Marchesin. **Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida do setor informal de reciclagem: um estudo de caso**. 2023. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho,” [S. l.], 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/571a5531-1018-4d54-9520-4cd8da8e0c87/content>.

COSTA, D.; QUINTEIRO, P.; DIAS, A. C. A systematic review of life cycle sustainability assessment: Current state, methodological challenges, and implementation issues. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 686, p. 774–787, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.435. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969719324891>.

COSTA, Márcia da Silva. Trabalho informal: um problema estrutural básico no entendimento das desigualdades na sociedade brasileira. **Caderno CRH**, [S. l.], v. 23, n. 58, p. 171–190, 2010. DOI: 10.1590/S0103-49792010000100011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-49792010000100011&lng=pt&tlng=pt.

CRISTOFINI, Olivier. Toward a Discursive Approach to the Hybridization of Practice: Insights from the Case of Servitization in France. **M@n@gement**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 23–47, 2021. DOI: 10.37725/mgmt.v24i2.7796. Disponível em: <https://management-aims.com/index.php/mgmt/article/view/7796>.

CURRAN, Mary Ann. **Life Cycle Assessment Handbook: a guide for environmentally sustainable products**. Cincinnati: Scrivener Publishing, 2012. DOI: 10.1002/9781118528372.

CURRAN, Mary Ann; FINKBEINER, Matthias; SCHMUHL, Fritz. A new captain on the bridge. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 611–613, 2019. DOI: 10.1007/s11367-019-01598-7. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-019-01598-7>.

CUSENZA, Maria Anna; LONGO, Sonia; CELLURA, Maurizio; GUARINO, Francesco; MESSINEO, Antonio; MISTRETTA, Marina; VOLPE, Maurizio. Environmental assessment of a waste-to-energy practice: The pyrolysis of agro-industrial biomass residues. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 28, p. 866–876, 2021. DOI: 10.1016/j.spc.2021.07.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.07.015>.

DA COSTA, Jessyka Silva; MARANDUBA, Henrique Leonardo; DE SOUSA CASTRO, Sérgio; DE ALMEIDA NETO, José Adolfo; RODRIGUES, Luciano Brito. Environmental performance of orange citrus waste as raw material for pectin and essential oil production. **Food and Bioproducts Processing**, [S. l.], v. 135, p. 165–177, 2022. DOI: 10.1016/j.fbp.2022.07.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.07.008>.

DA CRUZ, Gabriela Lopes; DA COSTA LOUZADA, Maria Laura; SILVA, Jacqueline Tereza Da; MARIA FELLEGER GARZILLO, Josefa; RAUBER, Fernanda; SCHMIDT RIVERA, Ximena; REYNOLDS, Christian; LEVY, Renata Bertazzi. The environmental impact of beef and ultra-processed food consumption in Brazil. **Public Health Nutrition**, [S. l.], p. 1–26, 2024. DOI: 10.1017/S1368980023002975. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/product/identifiser/S1368980023002975/type/journal_article.

DE LIMA FERNANDEZ PEREIRA, Consuelo. **Avaliação da sustentabilidade ampliada de produtos agroindustriais, estudo de caso**. 2008. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008. DOI: 10.47749/T/UNICAMP.2008.406680. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/406680>.

DE LUCA, Anna Irene; IOFRIDA, Nathalie; GONZÁLEZ DE MOLINA, Manuel; SPADA, Emanuele; DOMOUSO, Pablo; FALCONE, Giacomo; GULISANO, Giovanni; GARCÍA RUIZ, Roberto. A methodological proposal of the Sustainolive international research project to drive Mediterranean olive ecosystems toward sustainability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 7, 2023. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1207972.

DE LUCA, Anna Irene; IOFRIDA, Nathalie; STRANO, Alfio; FALCONE, Giacomo; GULISANO, Giovanni. Social life cycle assessment and participatory approaches: A methodological proposal applied to citrus farming in Southern Italy. **Integrated Environmental Assessment and Management**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 383–396, 2015. DOI: 10.1002/ieam.1611.

DE MORAIS SANTOS, Noemia; COTTONE, Paolo Francesco; ANTLOGA, Carla; HOCHDORN, Alexander; CARVALHO, Ariana Morais; BARBOSA, Mariana Andrade. Female entrepreneurship in Brazil: how scientific literature shapes the sociocultural construction of gender inequalities. **Humanities and Social Sciences Communications**, [S. l.], v. 9, n. 1, 2022. DOI: 10.1057/s41599-022-01359-2.

DHULDHAJ, Umesh Pravin; SINGH, Rishikesh; SINGH, Vipin Kumar. Pesticide contamination in agro-ecosystems: toxicity, impacts, and bio-based management strategies. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 9243–9270, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-24381-y. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-022-24381-y>.

DOMENE, SEMÍRAMIS MARTINS ÁLVARES; SAWAYA, ANA LYDIA; MAUAD, THAIS; FRANCO, MARIA DO CARMO PINHO; ALBUQUERQUE, MARIA PAULA DE; WANDERLEY, MARIANGELA BELFIORE; PEREIRA, CRISTIANE MATOS; KAZZE, MARCELLA CABRAL; PELIANO, ANNA MARIA MEDEIROS. Alimentação Saudável, Agricultura Urbana e Familiar. **Estudos Avançados**, [S. l.], v. 37, n. 109, p. 207–226, 2023.

DOI: 10.1590/s0103-4014.2023.37109.013. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142023000300207&tlng=pt.

DUBOIS-IORGULESCU, Ana-Maria; SARAIVA, Anna Karin Elisabeth Bernstad; VALLE, Rogerio; RODRIGUES, Leonardo Mangia. How to define the system in social life cycle assessments? A critical review of the state of the art and identification of needed developments. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 507–518, 2018. DOI: 10.1007/s11367-016-1181-y. Disponível em:
<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1181-y>.

DWIVEDI, Puneet; SPREEN, Thomas; GOODRICH-SCHNEIDER, Renée. Global warming impact of Florida's Not-From-Concentrate (NFC) orange juice. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 108, p. 104–111, 2012. DOI: 10.1016/j.agsy.2012.01.006. Disponível em:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2012.01.006>.

EBERHARDT, Leonardo Dresch; MIRANDA, Ary Carvalho De. Saúde, trabalho e imigração: revisão da literatura científica latino-americana. **Saúde em Debate**, [S. l.], v. 41, n. spe2, p. 299–312, 2017. DOI: 10.1590/0103-11042017s225. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-11042017000600299&lng=pt&tlng=pt.

EKVALL, Tomas; BJÖRKLUND, Anna; SANDIN, Gustav; JELSE, Kristian. **Modeling recycling in life cycle assessment**. Gothenburg. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/344364006_Modeling_recycling_in_life_cycle_assessment.

ELSEVIER. **Journal of Cleaner Production**. 2024. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Brazilian Land Use Change (BRLUC)**. 2022. Disponível em: <https://brluc.cnpma.embrapa.br/>. Acesso em: 27 sep. 2024.

ESHUN, John Frank; POTTING, José; LEEMANS, Rik. Inventory analysis of the timber industry in Ghana. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 15, n. 7, p. 715–725, 2010. DOI: 10.1007/s11367-010-0207-0.

ESHUN, John Frank; POTTING, José; LEEMANS, Rik. LCA of the timber sector in Ghana: Preliminary life cycle impact assessment (LCIA). **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 16, n. 7, p. 625–638, 2011. DOI: 10.1007/s11367-011-0307-5.

FALCONE, Giacomo; FAZARI, Antonio; VONO, Gregorio; GULISANO, Giovanni; STRANO, Alfio. Application of the LCA approach to the citrus production chain – A systematic review. **Cleaner Environmental Systems**, [S. l.], v. 12, n. November 2023, p. 100156, 2024. DOI: 10.1016/j.cesys.2023.100156. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100156>.

FALCONE, Giacomo; STILLITANO, Teodora; DE LUCA, Anna Irene; DI VITA, Giuseppe; IOFRIDA, Nathalie; STRANO, Alfio; GULISANO, Giovanni; PECORINO, Biagio; D'AMICO, Mario. Energetic and Economic Analyses for Agricultural Management Models: The Calabria PGI Clementine Case Study. **Energies**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 1289, 2020. DOI: 10.3390/en13051289. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/5/1289>.

FARAG, Mohamed A.; ABIB, Bishoy; AYAD, Laila; KHATTAB, Amira R. Sweet and bitter oranges: An updated comparative review of their bioactives, nutrition, food quality, therapeutic merits and biowaste valorization practices. **Food Chemistry**, [S. l.], v. 331, p. 127306, 2020. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127306. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814620311687>.

FARES, Ali; BAYABIL, Haimanote K.; ZEKRI, Mongi; MATTOS-JR, Dirceu; AWAL, Ripendra. Potential climate change impacts on citrus water requirement across major producing areas in the world. **Journal of Water & Climate Change**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 576–592, 2017. DOI: 10.2166/wcc.2017.182. Disponível em: <https://iwaponline.com/jwcc/article/8/4/576/37935/Potential-climate-change-impacts-on-citrus-water>.

FAVARETO, Arilson; NAKAGAWA, Louise; KLEEB, Suzana; SEIFER, Paulo; PÓ, Marcos. HÁ MAIS POBREZA E DESIGUALDADE DO QUE BEM ESTAR E RIQUEZA NOS MUNICÍPIOS DO MATOPIBA/ There is more poverty and inequality than well-being and wealth in the municipalities of Matopiba/ Hay más pobreza y desigualdad que bienestar y riqueza en los municipio. **Revista Nera**, [S. l.], n. 47, p. 348–381, 2019. DOI: 10.47946/rnera.v0i47.6275.

FERNANDES, Rita de Cássia Pereira. O construto multidimensional trabalho precário, o futuro do trabalho e a saúde de trabalhadoras(es). **Cadernos de Saúde Pública**, [S. l.], v. 39, n. 4, 2023. DOI: 10.1590/0102-311xpt100522. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2023000403001&tlng=pt.

FERRIE, J. E. Effects of chronic job insecurity and change in job security on self reported health, minor psychiatric morbidity, physiological measures, and health related behaviours in British civil servants: the Whitehall II study. **Journal of Epidemiology & Community Health**, [S. l.], v. 56, n. 6, p. 450–454, 2002. DOI: 10.1136/jech.56.6.450. Disponível em: <https://jech.bmj.com/lookup/doi/10.1136/jech.56.6.450>.

FINLAY, Craig; TSOU, Andrew; SUGIMOTO, Cassidy. Scholarly Communication as a Core Competency: Prevalence, Activities, and Concepts of Scholarly Communication Librarianship as Shown Through Job Advertisements. **Journal of Librarianship and Scholarly Communication**, [S. l.], v. 3, n. 1, 2015. DOI: 10.7710/2162-3309.1236. Disponível em: <https://www.iastatedigitalpress.com/jlsc/article/id/12744/>.

FINNVEDEN, Göran. Methodological aspects of life cycle assessment of integrated solid waste management systems. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 26, n. 3–4, p. 173–187, 1999. DOI: 10.1016/S0921-3449(99)00005-1.

FINNVEDEN, Göran; HAUSCHILD, Michael Z.; EKVALL, Tomas; GUINÉE, Jeroen; HEIJUNGS, Reinout; HELLWEG, Stefanie; KOEHLER, Annette; PENNINGTON, David; SUH, Sangwon. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 91, n. 1, p. 1–21, 2009. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.06.018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479709002345>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021** *The Lancet*. Rome: FAO, 2021. a. DOI: 10.4060/cb4477en. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/cb4477en>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Citrus Fruit Statistical Compendium 2020** *Food and Agriculture Organization*. Roma. Disponível em:

<https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf>.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Crops and livestock products: orange**. 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 17 sep. 2024.

FORTALEZA, Amanda Pinheiro; NASCIMENTO FILHO, José Jaime Pessoa Do; DE OLIVEIRA, Marcelo Araújo; DIAS, Thiago Da Silva; VASCONCELOS, Marcelo Augusto Machado; KATO, Osvaldo Ryokei. SISTEMA PRODUTIVO DA LARANJA ORGÂNICA E SUAS IMPLICAÇÕES: ESTUDO NO SÍTIO SOS AGROECOLÓGICO, NORDESTE PARAENSE. *Revista Agroecossistemas*, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 41, 2016. a. DOI: 10.18542/ragros.v8i1.3515. Disponível em:

<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas/article/view/3515>.

FORTALEZA, Amanda Pinheiro; NASCIMENTO FILHO, José Jaime Pessoa Do; OLIVEIRA, Marcelo Araújo De; DIAS, Thiago da Silva; VASCONCELOS, Marcelo Augusto Machado; KATO, Osvaldo Ryokei. Sistema produtivo da laranja orgânica e suas implicações: estudo no sítio SOS Agroecológico, nordeste paraense. *Agroecossistemas*, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 41–59, 2016. b.

FRANZE, Juliane; CIROTH, Andreas. A comparison of cut roses from Ecuador and the Netherlands. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 366–379, 2011. DOI: 10.1007/s11367-011-0266-x. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-011-0266-x>.

FUNDECITRUS; MARKESTRAT; (FEA-RP), Universidade de São Paulo-Faculdade de Economia Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto; VETERINÁRIAS, UNESP-Faculdade de Ciências Agrárias e. **Sumário Executivo: estimativa da safra de laranja 2021/22Fundecitrus**. Araraquara. Disponível em:

https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2021_05_27_Sumário_Executivo_da_Estimativa_da_Safra_de_Laranja_2021-2022.pdf.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA. **Reestimativa da safra de laranja 2023/24 do cinturão cítrico de São Paulo e Triângulo/sudoeste mineiro**. 2024. Disponível em: https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/0424_Fechamento_da_Safra_de_Laranja.pdf.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. Revisão Sistemática Da Literatura: Conceituação, Produção E Publicação. *Logeion: Filosofia da Informação*, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019. DOI: 10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73.

GAMA, FERNANDA CAVALCANTE; SILVA, PRISCILA THAYANE DE CARVALHO; GARCIA, FABIANE MAIA; JESUS, AUDRILENE SANTOS DE. Trabalhos análogos à escravidão: uma análise de indivíduos escravizados no século XXI no Brasil. *Cadernos EBAPE.BR*, [S. l.], v. 21, n. 3, 2023. DOI: 10.1590/1679-395120210211. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512023000300603&tlng=pt.

GARCÍA-CRUZ, A.; DÍAZ-JIMÉNEZ, L.; ILYINA, A.; CARLOS-HERNÁNDEZ, S. Prospective life cycle assessment of a based orange wax fungicide. *Industrial Crops and Products*, [S. l.], v. 180, n. December 2021, p. 1–9, 2022. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.114769.

GARRISON, Ray H.; NOREEN, Eric W.; BREWER, Peter C. **Contabilidade gerencial**. 14.

ed. New York: McGraw-Hill Companies, 2013.

GEMMA, Sandra Francisca Bezerra; ABRAHÃO, Roberto Funes; SZNELWAR, Laerte Idal. O trabalho no cultivo orgânico de frutas: uma abordagem ergonômica. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, [S. l.], v. 29, n. 109, p. 37–44, 2004. DOI: 10.1590/S0303-76572004000100006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0303-76572004000100006&lng=pt&tlng=pt.

GENRO, Teresa Cristina Moraes; LARA, Daniela Mueller De; LAMPERTI, Vinícius do Nascimento. **Análise das emissões de metano entérico do rebanho de bovinos de corte do Rio Grande do Sul** Bagé Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, , 2023. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1158126/1/CT-109-Online.pdf>.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GOEDKOOOP, M. J. et al. **Product Social Impact Assessment Handbook**. Amersfoort. Disponível em: <http://product-social-impact-assessment.com/wp-content/uploads/2014/08/Handbook-for-Product-Social-Impact-Assessment.pdf>.

GRANONE, Luis I.; HEGEL, Pablo E.; PEREDA, Selva. Citrus fruit processing by pressure intensified technologies: A review. **Journal of Supercritical Fluids**, [S. l.], v. 188, n. April, p. 105646, 2022. DOI: 10.1016/j.supflu.2022.105646. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105646>.

GUINÉE, Jeroen B. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**. 7. ed. New York: Kluwer Academic Publishers, 2002. v. 7

HACKENHAAR, Isadora C.; MORAGA, Gustavo; THOMASSEN, Gwenny; TAELEMAN, Sue Ellen; DEWULF, Jo; BACHMANN, Till M. A comprehensive framework covering Life Cycle Sustainability Assessment, resource circularity and criticality. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 45, p. 509–524, 2024. DOI: 10.1016/j.spc.2024.01.018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352550924000186>.

HANNOUF, Marwa B.; PADILLA-RIVERA, Alejandro; ASSEFA, Getachew; GATES, Ian. Methodological framework to find links between life cycle sustainability assessment categories and the UN Sustainable Development Goals based on literature. **Journal of Industrial Ecology**, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 707–725, 2023. DOI: 10.1111/jiec.13283.

HART, Chris. **Doing a Literature Review: releasing the Social Science Research Imagination**. 1. ed. London: SAGE Publications, 1999. v. 1

HAUSCHILD, Michael Z.; ROSENBAUM, Ralph K.; OLSEN, Stig Irving (EDS.). **Life Cycle Assessment**. Cham: Springer International Publishing, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56475-3>.

HERALOVA, Renata Schneiderova. Life Cycle Cost Optimization Within Decision Making on Alternative Designs of Public Buildings. **Procedia Engineering**, [S. l.], v. 85, p. 454–463, 2014. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.572. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705814019389>.

HILDENBRAND, Jutta; SROCKA, Michael; CIROTH, Andreas. **OpenLCA**. 2005. Disponível em: <https://www.openlca.org/the-idea/>.

HOOGMARTENS, Rob; VAN PASSEL, Steven; VAN ACKER, Karel; DUBOIS, Maarten. Bridging the gap between LCA, LCC and CBA as sustainability assessment tools. **Environmental Impact Assessment Review**, [S. l.], v. 48, p. 27–33, 2014. DOI: 10.1016/j.eiar.2014.05.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195925514000481>.

HOSSAIN, Md Uzzal; POON, Chi Sun. Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 177, p. 387–397, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.12.233. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.233>.

HUYSVELD, Sophie; Taelman, Sue Ellen; Hackenhaar, Isadora C.; PIHKOLA, Hanna; GOEDKOOP, Mark; ISASA, Marina; ZANCHI, Laura; KUJANPÄÄ, Lauri. **ORIENTING: Critical evaluation of sustainability integration approaches**. Barcelona. Disponível em: <https://orienting.eu/>.

IÑIGO MARTÍNEZ, María Emilia; DÍAZ, Gisela Florencia; MACHADO, Daniel; GAROLERA DE NUCCI, Patricia; PAZ, Dora; ARENA, Pablo. Life cycle assessment of energy saving and circular economy strategies: contributions to the environmental footprint lemon and by-product production in Argentina. **Clean Technologies and Environmental Policy**, [S. l.], v. 26, n. 6, p. 2033–2057, 2024. DOI: 10.1007/s10098-023-02693-y. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s10098-023-02693-y>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2017**. Brasília. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3101/agro_2017_caracteristicas_gerais.pdf.

INTERNACIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE MOVEMENTS. **Definition of organic agriculture**. 2008. Disponível em: https://archive.ifoam.bio/sites/default/files/page/files/doa_portuguese.pdf. Acesso em: 12 sep. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework**. 2006a. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines**. 2006b. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:en>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14075:2024 - Environmental management - principles and framework for social life cycle assessment**. 2024. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14075:ed-1:v1:en>.

IOFRIDA, Nathalie; DE LUCA, Anna Irene; SILVERI, Frederica; FALCONE, Giacomo; STILLITANO, Teodora; GULISANO, Giovanni; STRANO, Alfio. Psychosocial risk factors' impact pathway for social life cycle assessment: an application to citrus life cycles in South Italy. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 767–780, 2019. DOI: 10.1007/s11367-018-1482-4.

IQBAL, Asad; LIU, Xiaoming; CHEN, Guang-Hao. Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 729, p. 138622, 2020. DOI:

10.1016/j.scitotenv.2020.138622. Disponível em:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720321380>.

JURASKE, Ronnie; SANJUÁN, Neus. Life cycle toxicity assessment of pesticides used in integrated and organic production of oranges in the Comunidad Valenciana, Spain.

Chemosphere, [S. l.], v. 82, n. 7, p. 956–962, 2011. DOI:

10.1016/j.chemosphere.2010.10.081. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.081>.

KABIR, Md. Jahangir; ALAM, Khorshed; MUSHTAQ, Shahbaz; BILOTTO, Franco; CHRISTIE-WHITEHEAD, Karen Michelle; HARRISON, Matthew Tom. Extreme weather dominates farm management effects on long-term trends in soil carbon. **Trends in Food Science & Technology**, [S. l.], v. 146, p. 104409, 2024. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104409. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924224424000852>.

KAMBANOU, Marianna Lena. Life Cycle Costing: Understanding How It Is Practised and Its Relationship to Life Cycle Management—A Case Study. **Sustainability**, [S. l.], v. 12, n. 8, p. 3252, 2020. DOI: 10.3390/su12083252. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/8/3252>.

KAUR, Harpreet; GUPTA, Surbhi; DHINGRA, Arvind. Selection of solar panel using entropy TOPSIS technique. **Materials Today: Proceedings**, [S. l.], 2023. DOI:

10.1016/j.matpr.2023.02.034. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785323005527>.

KAYRBEKOVA, Dina; MARKESET, Tore; GHODRATI, Behzad. Activity-based life cycle cost analysis as an alternative to conventional LCC in engineering design. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 218–225, 2011. DOI: 10.1007/s13198-011-0064-7. Disponível em:

<http://link.springer.com/10.1007/s13198-011-0064-7>.

KHANDELWAL, Harshit; DHAR, Hiya; THALLA, Arun Kumar; KUMAR, Sunil. Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 209, p. 630–654, 2019. DOI:

10.1016/j.jclepro.2018.10.233. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618332591>.

KHANPIT, Vishal V.; TAJANE, Sonali P.; MANDAVGANE, Sachin A. Technoeconomic and life cycle analysis of soluble dietary fiber concentrate production from waste orange peels. **Waste Management**, [S. l.], v. 155, n. October 2022, p. 29–39, 2023. a. DOI:

10.1016/j.wasman.2022.10.036. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.036>.

KHANPIT, Vishal V.; TAJANE, Sonali P.; MANDAVGANE, Sachin A. Orange waste peel to high value soluble dietary fiber concentrate: comparison of conversion methods and their environmental impact. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [S. l.], v. 13, n. 16, p. 14413–14423, 2023. b. DOI: 10.1007/s13399-022-02481-6. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s13399-022-02481-6>.

KHANPIT, Vishal V.; TAJANE, Sonali P.; MANDAVGANE, Sachin A. Production of soluble dietary fiber concentrate from waste orange peels: study of nutritional and physicochemical properties and life cycle assessment. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [S. l.], v. 13, n. 16, p. 14615–14627, 2023. c. DOI: 10.1007/s13399-022-03007-w. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03007-w>.

- KIM, Tae Jun; VON DEM KNESEBECK, Olaf. Is an insecure job better for health than having no job at all? A systematic review of studies investigating the health-related risks of both job insecurity and unemployment. **BMC Public Health**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 985, 2015. DOI: 10.1186/s12889-015-2313-1. Disponível em: <http://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-015-2313-1>.
- KLOEPFFER, Walter. Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 89–95, 2008. DOI: 10.1065/lca2008.02.376. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1065/lca2008.02.376>.
- KNUDSEN, Marie Trydeman; FONSECA DE ALMEIDA, Gustavo; LANGER, Vibeke; SANTIAGO DE ABREU, Lucimar; HALBERG, Niels. Environmental assessment of organic juice imported to Denmark: A case study on oranges (*Citrus sinensis*) from Brazil. **Organic Agriculture**, [S. l.], v. 1, n. 3, p. 167–185, 2011. DOI: 10.1007/s13165-011-0014-3.
- KOBLIANSKA, Inna; KALACHEVSKA, Larysa; SCHLAUDERER, Ralf. Agricultural life cycle assessment: a system-wide bibliometric research. **Agricultural and Resource Economics: International Scientific E-Journal**, [S. l.], v. 10, n. 1, 2024. DOI: 10.51599/are.2024.10.01.03. Disponível em: <https://are-journal.com/are/article/view/793>.
- KRABBE, Everton Luis; SANTOS FILHO, Jonas Irineu Dos; MIELE, Marcelo; MARTINS, Franco Müller. **Cadeias produtivas de suínos e aves**. 2012. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/979119/1/final7180.pdf>. Acesso em: 8 apr. 2025.
- KRENAK, Ailton. **Ideias para adiar o fim do mundo**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2017.
- KRUGLIAK, Alexandra; DRASCHKOW, Dejan; VÕ, Melissa L. H.; CLARKE, Alex. Semantic object processing is modulated by prior scene context. **Language, Cognition and Neuroscience**, [S. l.], p. 1–10, 2023. DOI: 10.1080/23273798.2023.2279083. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23273798.2023.2279083>.
- LARSEN, Vibeke Grupe; TOLLIN, Nicola; SATTRUP, Peter Andreas; BIRKVED, Morten; HOLMBOE, Tine. What are the challenges in assessing circular economy for the built environment? A literature review on integrating LCA, LCC and S-LCA in life cycle sustainability assessment, LCSA. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 50, p. 104203, 2022. DOI: 10.1016/j.job.2022.104203. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352710222002169>.
- LAUESEN, Linne Marie. Sustainable investment evaluation by means of life cycle assessment. **Social Responsibility Journal**, [S. l.], v. 15, n. 3, p. 347–364, 2019. DOI: 10.1108/SRJ-03-2018-0054. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SRJ-03-2018-0054/full/html>.
- LAUSSELET, Carine; CHERUBINI, Francesco; DEL ALAMO SERRANO, Gonzalo; BECIDAN, Michael; STRØMMAN, Anders Hammer. Life-cycle assessment of a Waste-to-Energy plant in central Norway: Current situation and effects of changes in waste fraction composition. **Waste Management**, [S. l.], v. 58, p. 191–201, 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.09.014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.014>.
- LEE, Hye-Min; KIM, Kyoung-Chan; KIM, Min-Wook; LEE, Ju-Yong; JOO, Hung-Soo. Estimation of Ammonia Emission Inventory Using Life Cycle Assessment Based on

Livestock Manure Flow: A Case Study of the Manure Management Sector in Korea. **Atmosphere**, [S. l.], v. 15, n. 8, p. 910, 2024. DOI: 10.3390/atmos15080910. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/15/8/910>.

LEITE, Angela. **Aplicações da matemática: administração, economia e ciências contábeis**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

LI, Jing; LONG, Qiushuang; LU, Xiaoli; WU, Dengsheng. Citation beneficiaries of discipline-specific mega-journals: who and how much. **Humanities and Social Sciences Communications**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 541, 2023. DOI: 10.1057/s41599-023-02050-w. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41599-023-02050-w>.

LIMA, Thales Batista De; COSTA, Márcia da Silva. Trabalho informal: uma revisão sistemática da literatura brasileira na área de Administração entre 2004 e 2013. **Cadernos EBAPE.BR**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 310–324, 2016. DOI: 10.1590/1679-395135137. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-39512016000200310&lng=pt&tlng=pt.

LOPES SILVA, Diogo Aparecido; NUNES, Andréa Oliveira; PIEKARSKI, Cassiano Moro; DA SILVA MORIS, Virgínia Aparecida; DE SOUZA, Luri Shirosaki Marçal; RODRIGUES, Thiago Oliveira. Why using different Life Cycle Assessment software tools can generate different results for the same product system? A cause–effect analysis of the problem. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 20, p. 304–315, 2019. DOI: 10.1016/j.spc.2019.07.005. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352550919301733>.

LUNE, Howard; PUMAR, Enrique S.; KOPPEL, Ross. **Perspectives in social research methods and analysis: a reader for sociology**. New York: SAGE Publications, 2009.

MACHIN FERRERO, Lucas M.; WHEELER, Jonathan; MELE, Fernando D. Life cycle assessment of the Argentine lemon and its derivatives in a circular economy context. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 29, p. 672–684, 2022. DOI: 10.1016/j.spc.2021.11.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.11.014>.

MACOMBE, Catherine; LOEILLET, Denis; GILLET, Charles. Extended community of peers and robustness of social LCA. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 492–506, 2018. DOI: 10.1007/s11367-016-1226-2.

MAGALHÃES, Nathália; CAVALCANTE, Alyne Vasconcelos; ANDRADE, Luana Siebra; WANDERLEY, Carlos Ronald Pessoa; MARINHO, Glória; PESSOA, Kelly de Araújo Rodrigues. Produção de ácido cítrico por *Aspergillus niger* AN 400 a partir de resíduo agroindustrial. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 24, n. 1, p. 101–107, 2019. DOI: 10.1590/s1413-41522019167153. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000100101&tlng=pt.

MANAKAS, Pantelis; BALAFOUTIS, Athanasios T.; KOTTARIDI, Constantina; VLYSIDIS, Anestis. Sustainability assessment of orange peel waste valorization pathways from juice industries. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [S. l.], 2024. DOI: 10.1007/s13399-024-05626-x. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s13399-024-05626-x>.

MARIANA, Ortiz-Sanchez; CAMILO, Solarte-Toro Juan; ARIEL, Cardona-Alzate Carlos. A comprehensive approach for biorefineries design based on experimental data, conceptual and

optimization methodologies: The orange peel waste case. **Bioresource Technology**, [S. l.], v. 325, p. 124682, 2021. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.124682. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852421000201>.

MARIANA, Ortiz Sanchez; ALZATE, Cardona; ARIEL, Carlos. Comparative environmental life cycle assessment of orange peel waste in present productive chains. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 322, n. August, p. 128814, 2021. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128814. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128814>.

MARTÍNEZ-BLANCO, Julia; LEHMANN, Annekatrin; MUÑOZ, Pere; ANTÓN, Assumpció; TRAVERSO, Marzia; RIERADEVALL, Joan; FINKBEINER, Matthias. Application challenges for the social Life Cycle Assessment of fertilizers within life cycle sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 69, p. 34–48, 2014. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.01.044. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614000572>.

MARTINEZ-HERNANDEZ, Elias; MAGDALENO MOLINA, Moisés; MELGAREJO FLORES, Luis A.; PALMERÍN RUIZ, Ma Esther; ZERMEÑO EGUALIS, Juan A.; ROSAS MOLINA, Andrés; ABURTO, Jorge; AMEZCUA-ALLIERI, Myriam A. Energy-water nexus strategies for the energetic valorization of orange peels based on techno-economic and environmental impact assessment. **Food and Bioproducts Processing**, [S. l.], v. 117, p. 380–387, 2019. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.08.002. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960308519300549>.

MARTINS, Florinda; MACHADO, Susana; ALBERGARIA, Tomás; DELERUE-MATOS, Cristina. LCA applied to nano scale zero valent iron synthesis. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 22, n. 5, p. 707–714, 2017. DOI: 10.1007/s11367-016-1258-7. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1258-7>.

MARTINS, Vitor William Batista; ANHOLON, Rosley; SANCHEZ-RODRIGUES, Vasco; LEAL FILHO, Walter; QUELHAS, Osvaldo Luiz Gonçalves. Brazilian logistics practitioners' perceptions on sustainability: an exploratory study. **The International Journal of Logistics Management**, [S. l.], v. 32, n. 1, p. 190–213, 2021. DOI: 10.1108/IJLM-02-2020-0091. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJLM-02-2020-0091/full/html>.

MARX, Karl. **O Capital: crítica da economia política**. 3. ed. São Paulo: Boitempo, 2023.

MASCARENHAS, Carla; FERREIRA, João J.; MARQUES, Carla. University-industry cooperation: A systematic literature review and research agenda. **Science and Public Policy**, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 708–718, 2018. DOI: 10.1093/SCIPOL/SCY003.

MATHEUS, Delwek. **Análise da relação da política dos territórios da cidadania e a ação do capital no campo: o caso do território da cidadania do Sudoeste Paulista**. 2016a. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, [S. l.], 2016.

MATHEUS, Delwek. **Análise da relação da política dos territórios da cidadania e a ação do capital no campo: o caso do território da cidadania do Sudoeste Paulista**. [S. l.], p. 145, 2016. b.

MBEWU, Asekhona Dolly; ELEPHANT, Dimpho Elvis; MOTSI, Hamond; NYAMBO, Patrick. Climate change effects on water footprint of crop production: A meta-analysis. **Environmental Challenges**, [S. l.], v. 17, p. 101033, 2024. DOI: 10.1016/j.envc.2024.101033. Disponível em:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2667010024001999>.

MEENA, Satya Narayan et al. Comparative analysis of soil quality and enzymatic activities under different tillage based nutrient management practices in soybean–wheat cropping sequence in Vertisols. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 6840, 2024. DOI: 10.1038/s41598-024-54512-z. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-54512-z>.

MELNYCHUK, Michael C.; LEES, Samantha; ATCHESON, Megan; BURNS, Polly; LONGO, Catherine; KOERNER, Lauren; POLIDORO, Beth. Rates and drivers of fishery certification and withdrawal from the MSC program. **Marine Policy**, [S. l.], v. 170, p. 106343, 2024. DOI: 10.1016/j.marpol.2024.106343. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308597X24003415>.

MERCANTE, Irma T.; BOVEA, María D.; IBÁÑEZ-FORÉS, Valeria; ARENA, Alejandro P. Life cycle assessment of construction and demolition waste management systems: A Spanish case study. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 232–241, 2012. DOI: 10.1007/s11367-011-0350-2.

MESA ALVAREZ, Catalina; LIGTHART, Tom. A social panorama within the life cycle thinking and the circular economy: a literature review. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 26, n. 11, p. 2278–2291, 2021. DOI: 10.1007/s11367-021-01979-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01979-x>.

MIAH, J. H.; KOH, S. C. L.; STONE, D. A hybridised framework combining integrated methods for environmental Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 168, p. 846–866, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.08.187. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617319200>.

MINHO, Alessandro Pelegrine et al. **Manejo da água na pecuária: aplicação de conceitos, princípios e práticas para racionalizar seu uso**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados**. Brasília: Editora MS, 2012.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. Portaria n.º 3.214, 08 de junho de 1978. . 1978.

MIRANDA-ACKERMAN, Marco A.; AZZARO-PANTEL, Catherine; AGUILAR-LASSERRE, Alberto A. A green supply chain network design framework for the processed food industry: Application to the orange juice agrofood cluster. **Computers and Industrial Engineering**, [S. l.], v. 109, p. 369–389, 2017. DOI: 10.1016/j.cie.2017.04.031. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.031>.

MORIIZUMI, Yue; MATSUI, Naohiro; HONDO, Hiroki. Simplified life cycle sustainability assessment of mangrove management: A case of plantation on wastelands in Thailand. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 18, n. 16–17, p. 1629–1638, 2010. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.07.017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.07.017>.

MORRIS, Jeffrey. Recycle, Bury, or Burn Wood Waste Biomass?: LCA Answer Depends on Carbon Accounting, Emissions Controls, Displaced Fuels, and Impact Costs. **Journal of Industrial Ecology**, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 844–856, 2017. DOI: 10.1111/jiec.12469.

MUÑOZ TORRES, María Jesús; FERNÁNDEZ-IZQUIERDO, María Ángeles; FERRERO-FERRERO, Idoya; ESCRIG-OLMEDO, Elena; RIVERA-LIRIO, Juana María. Transitioning

the agri-food system. Does closeness mean sustainability? how production and shipping strategies impact socially and environmentally. Comparing Spain, South Africa and U.S. citrus fruit productions. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 46, n. 4, p. 540–577, 2022. DOI: 10.1080/21683565.2022.2039835. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2039835>.

MUTHU, Subramanian Senthilkannan (ED.). **Social Life Cycle Assessment**. Singapore: Springer Singapore, 2019. DOI: 10.1007/978-981-13-3236-4. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-981-13-3236-4>.

MUTHU, Subramanian Senthilkannan. **Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA)**. Singapore: Springer Singapore, 2021. DOI: 10.1007/978-981-16-4562-4. Disponível em: <http://www.springer.com/series/13340>.

NANDIMANDALAM, Hariteja; GUDE, Veera Gnanaswar; MARUFUZZAMAN, Mohammad. Environmental impact assessment of biomass supported electricity generation for sustainable rural energy systems - A case study of Grenada County, Mississippi, USA. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 802, p. 149716, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149716. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149716>.

NASSI-CALÒ, Lilian. **Potenciais vantagens e desvantagens na publicação de pareceres**. 2019. Disponível em: <https://blog.scielo.org/blog/2019/04/30/potenciais-vantagens-e-desvantagens-na-publicacao-de-pareceres/>. Acesso em: 10 jan. 2024.

NAVARRO-PINEDA, Freddy S.; EQUIHUA-SÁNCHEZ, Mintzirani; GRANDE-ACOSTA, Genice K.; SACRAMENTO RIVERO, Julio C.; ISLAS-SAMPERIO, Jorge M.; BONALES REVUELTA, Joel; MUSULE, Ricardo; GARCÍA, Carlos A.; MANZINI, Fabio. Assessment of the Environmental and Economic Performance of Heat Generation from Orange Peels and Sugarcane Straw. **Bioenergy Research**, [S. l.], v. 15, n. 4, p. 1747–1763, 2022. DOI: 10.1007/s12155-021-10326-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10326-9>.

NEGRO, Viviana; RUGGERI, Bernardo; FINO, Debora; TONINI, Davide. Life cycle assessment of orange peel waste management. **Resources, Conservation and Recycling**, [S. l.], v. 127, n. June, p. 148–158, 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.08.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.014>.

NERMEND, Kesra. **Multi-Criteria and Multi-Dimensional Analysis in Decisions**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-40538-9. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-031-40538-9>.

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Vinícius Gustavo; MARQUES, Vitor Nardini; MARTINEZ, Leticia Franco. Global orange juice market: a 16-year summary and opportunities for creating value. **Tropical Plant Pathology**, [S. l.], v. 45, n. 3, p. 166–174, 2020. DOI: 10.1007/s40858-020-00378-1. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s40858-020-00378-1>.

NORRIS, Catherine Benoît et al. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2021/01/Guidelines-for-Social-Life-Cycle-Assessment-of-Products-and-Organizations-2020-22.1.21sml.pdf>.

OGUNLADE, Clement Adesoji; JEKAYINFA, S. O.; OLANIRAN, J. A.; ADEBAYO, A. O. Energy life-cycle assessment and economic analysis of sweet orange production in Nigeria.

Agricultural Engineering International: CIGR Journal, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 123–132, 2020.

OLIVEIRA, José Augusto; SILVA, Diogo Aparecido Lopes; PUGLIERI, Fabio Neves; SAAVEDRA, Yovana María Barrera. **Life Cycle Engineering and Management of Products**. 1. ed. Cham: Springer International Publishing, 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-78044-9. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-78044-9>.

ORTIZ-PRZYCHODZKA, Stefan; BENAVIDES-FRÍAS, Camila; RAYMOND, Christopher M.; DÍAZ-REVIRIEGO, Isabel; HANSPACH, Jan. Rethinking Economic Practices and Values As Assemblages of More-Than-Human Relations. **Ecological Economics**, [S. l.], v. 211, p. 107866, 2023. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2023.107866. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800923001295>.

ORTIZ-SANCHEZ, M.; SOLARTE-TORO, J. C.; ORREGO-ALZATE, C. E.; ACOSTA-MEDINA, C. D.; CARDONA-ALZATE, C. A. Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 645–659, 2021. a. DOI: 10.1007/s13399-020-00627-y.

ORTIZ-SANCHEZ, M.; SOLARTE-TORO, J. C.; ORREGO-ALZATE, C. E.; ACOSTA-MEDINA, C. D.; CARDONA-ALZATE, C. A. Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment. **Biomass Conversion and Biorefinery**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 645–659, 2021. b. DOI: 10.1007/s13399-020-00627-y. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s13399-020-00627-y>.

ORTIZ, D. L.; BATUECAS, E.; ORREGO, C. E.; RODRÍGUEZ, L. Joana; CAMELIN, E.; FINO, D. Sustainable management of peel waste in the small-scale orange juice industries: A Colombian case study. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 265, p. 121587, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121587. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121587>.

OSHIRO, Cymara Regina; SILVA, Dimas Agostinho Da; HOSKAWA, Roberto Tuyoshi; SILVA, João Carlos Garzel Leodoro Da; NAKAJIMA, Nelson Yoshihiro. Disponibilidade potencial de esterco da bovinocultura leiteira para energia em cooperativa. In: ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE 2016, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo p. 1–8. Disponível em: <https://engemausp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/435.pdf>.

OUELD LHAJ, Majda; MOUSSADEK, Rachid; ZOUAHRI, Abdelmjid; SANAD, Hatim; SAAFADI, Laila; MDARHRI ALAOU, Meriem; MOUHIR, Latifa. Sustainable Agriculture Through Agricultural Waste Management: A Comprehensive Review of Composting's Impact on Soil Health in Moroccan Agricultural Ecosystems. **Agriculture**, [S. l.], v. 14, n. 12, p. 2356, 2024. DOI: 10.3390/agriculture14122356. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/14/12/2356>.

OUZZANI, Mourad; HAMMADY, Hossam; FEDOROWICZ, Zbys; ELMAGARMID, Ahmed. Rayyan-a web and mobile app for systematic reviews. **Systematic Reviews**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 1–10, 2016. DOI: 10.1186/s13643-016-0384-4. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s13643-016-0384-4>.

PADILLA-RIVERA, Alejandro; HANNOUF, Marwa; ASSEFA, Getachew; GATES, Ian. A systematic literature review on current application of life cycle sustainability assessment: A focus on economic dimension and emerging technologies. **Environmental Impact Assessment Review**, [S. l.], v. 103, p. 107268, 2023. DOI: 10.1016/j.eiar.2023.107268.

Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0195925523002342>.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Systematic Reviews**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 1–11, 2021. DOI: 10.1186/s13643-021-01626-4.

PEREIRA, Rafael Mesquita; GALVÃO, Maria Cristina; MAXIR, Henrique dos Santos. Determinantes do emprego secundário e informalidade: evidências adicionais para o mercado de trabalho brasileiro. **Revista Brasileira de Estudos de População**, [S. l.], v. 35, n. 3, p. 1–23, 2018. DOI: 10.20947/S102-3098a0047. Disponível em: <https://rebep.org.br/revista/article/view/1130>.

PERGOLA, M.; D'AMICO, M.; CELANO, G.; PALESE, A. M.; SCUDERI, A.; DI VITA, G.; PAPPALARDO, G.; INGLESE, P. Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: An energy, economic and environmental analysis. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 128, p. 674–682, 2013. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.06.007.

PETRY, Henrique Belmonte; KOLLER, Otto Carlos; BENDER, Renar João; SCHWARZ, Sergio Francisco. Qualidade de laranjas “Valência” produzidas sob sistemas de cultivo orgânico e convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S. l.], v. 34, n. 1, p. 167–174, 2012. DOI: 10.1590/S0100-29452012000100023. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452012000100023&lng=pt&tlng=pt.

PETTI, Luigia; SERRELI, Monica; DI CESARE, Silvia. Systematic literature review in social life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 422–431, 2018. DOI: 10.1007/s11367-016-1135-4. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1135-4>.

PHAM, Nguyen Khang; MORIN, Annie; GROS, Patrick; LE, Quyet Thang. Factorial correspondence analysis for image retrieval. **RIVF 2008 - 2008 IEEE International Conference on Research, Innovation and Vision for the Future in Computing and Communication Technologies**, [S. l.], n. January, p. 269–275, 2008. DOI: 10.1109/RIVF.2008.4586366.

PONTES, Andreza Graziella Veríssimo; SILVA, Raiane Torres Da; SILVA, Jennifer do Vale e. Cargas de trabalho, precarização e Saúde do Trabalhador no agronegócio no semiárido do Nordeste brasileiro. **Saúde em Debate**, [S. l.], v. 47, n. 139, p. 729–745, 2023. DOI: 10.1590/0103-1104202313901. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-11042023000400729&tlng=pt.

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, [S. l.], v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018. DOI: 10.1126/science.aag0216. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aag0216>.

PORTO, José Renato Sant'Anna. Projetos políticos de desenvolvimento territorial: territorialidades, significados e o campo de disputas no Sudoeste Paulista. **IDeAS**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 8–61, 2014.

PRANCKUTĖ, Raminta. Web of science (Wos) and scopus: The titans of bibliographic information in today's academic world. **Publications**, [S. l.], v. 9, n. 1, 2021. DOI: 10.3390/publications9010012.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto-lei número 5.452 de 1º. de maio de 1943. . 1943.

RAJENDRAN, Naveenkumar; KANG, Dongseong; HAN, Jeehoon; GURUNATHAN, Baskar. Process optimization, economic and environmental analysis of biodiesel production from food waste using a citrus fruit peel biochar catalyst. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 365, n. June, p. 132712, 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132712. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132712>.

RAMANKUTTY, Navin; EVAN, Amato T.; MONFREDA, Chad; FOLEY, Jonathan A. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. **Global Biogeochemical Cycles**, [S. l.], v. 22, n. 1, 2008. DOI: 10.1029/2007GB002952. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007GB002952>.

RAMOS, Maurivan Güntzel; DO ROSÁRIO LIMA, Valderez Marina; AMARAL-ROSA, Marcelo Prado. IRAMUTEQ Software and Discursive Textual Analysis: Interpretive Possibilities. In: **Advances in Intelligent Systems and Computing**. [s.l: s.n.]. v. 861p. 58–72. DOI: 10.1007/978-3-030-01406-3_6. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-01406-3_6.

RAN, Xueling et al. Hotspots and future trends of phosphorus recycling from livestock manure: A bibliometric review. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 892, p. 164346, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.164346. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969723029674>.

REAP, John; ROMAN, Felipe; DUNCAN, Scott; BRAS, Bert. A survey of unresolved problems in life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 13, p. 290–300, 2008. DOI: 10.1007/s11367-008-0008-x. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-008-0008-x>.

REDDY, V. Ratna; KURIAN, Mathew; ARDAKANIAN, Reza. **Life-cycle Cost Approach for Management of Environmental Resources**. Cham: Springer International Publishing, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-06287-7. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-06287-7>.

REIS, Ana Terra. **Trabalho, Políticas Públicas e Resistência em Assentamentos do estado de São Paulo: um estudo do Programa de Aquisição de Alimentos (PAA)**. 2015. Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho,” [S. l.], 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/c1c3b395-fb64-4c14-8997-b7baf589f0bb/content>.

REUVENY, Rafael; THOMPSON, William R. Uneven economic growth and the world economy's North-South stratification. **International Studies Quarterly**, [S. l.], v. 52, n. 3, p. 579–605, 2008. DOI: 10.1111/j.1468-2478.2008.00516.x.

RIVERA, Julián Esteban; CHARÁ, Julian. CH₄ and N₂O Emissions From Cattle Excreta: A Review of Main Drivers and Mitigation Strategies in Grazing Systems. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S. l.], v. 5, 2021. DOI: 10.3389/fsufs.2021.657936. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.657936/full>.

RÖDGER, Jan-Markus; KJÆR, Louise Laumann; PAGOROPOULOS, Aris. Life Cycle Costing: An Introduction. In: **Life Cycle Assessment**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 373–399. DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3_15. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-56475-3_15.

RODRÍGUEZ-GUERRERO, Luis Alejandro; PÉREZ-URDIALES, Iratxe; ESCRIG-PIÑOL, Astrid; JIMÉNEZ-LASSERROTTE, María del Mar; PASTOR-BRAVO, María del Mar; MATEOS, José Tomás; BRIONES-VOZMEDIANO, Erica. Water insecurity among seasonal agriculture workers: perspectives from Spanish professionals. **International Journal for Equity in Health**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 31, 2024. DOI: 10.1186/s12939-024-02112-8. Disponível em: <https://equityhealthj.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12939-024-02112-8>.

RÖNNBLAD, Torkel; GRÖNHOLM, Erik; JONSSON, Johanna; KORANYI, Isa; ORELLANA, Cecilia; KRESHPAJ, Bertina; CHEN, Lingjing; STOCKFELT, Leo; BODIN, Theo. Precarious employment and mental health: a systematic review and meta-analysis of longitudinal studies. **Scandinavian Journal of Work, Environment & Health**, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 429–443, 2019. DOI: 10.5271/sjweh.3797. Disponível em: http://www.sjweh.fi/show_abstract.php?abstract_id=3797.

SADEGHPOUR, Amir; AFSHAR, Reza Keshavarz. Livestock manure: From waste to resource in a circular economy. **Journal of Agriculture and Food Research**, [S. l.], v. 17, p. 101255, 2024. DOI: 10.1016/j.jafr.2024.101255. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666154324002928>.

SALVIATI, Maria Elisabeth. **Manual do Aplicativo Iramuteq**. 1. ed. Planaltina.

SANTOS, Ana Cláudia; MENTA, Sandra Aiache. REFLETINDO A INTERFACE ENTRE TRABALHO RURAL E SAÚDE MENTAL DOS TRABALHADORES DA CITRICULTURA. **Cadernos de Terapia Ocupacional da UFSCar**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 765–775, 2016. DOI: 10.4322/0104-4931.ctoAO0718. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/0104-4931.ctoAO0718>.

SANTOS, Leandro de Lima; GRACIANO, Moneyle Camargo; ARAÚJO, Júlio Cesar Lima De; MELO, Danielle Picão De; MARTENSEN, Alexandre Camargo. Agronegócio e a busca por terra e água: uso do solo, irrigação e estrutura fundiária na região do Alto Paranapanema – São Paulo. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 248–268, 2024. DOI: 10.5016/estgeo.v23i3. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/17973/12964>.

SAVIAN, Michelle; DA PENHA SIMON, Carla; HOLDEN, Nicholas M. Evaluating environmental, economic, and social aspects of an intensive pig production farm in the south of Brazil: a case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 28, n. 11, p. 1544–1560, 2023. DOI: 10.1007/s11367-023-02223-4. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11367-023-02223-4>.

SCHWARCZ, Lilia Moritz; STARLING, Heloisa Murgel. **Brasil: uma biografia**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2015.

SCOPUS. **Scimago Journal & Country Rank**. 2022. Disponível em: <https://www.scimagojr.com/>.

SCOPUS. **Analyze search results: life cycle sustainability assessment**. 2024. Disponível em: <https://www-scopus-com.ez31.periodicos.capes.gov.br/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=4b35c4967b5f41b9d7cbae5bf613ecfc&sot=a&sdt=a&sl=53&s=TITLE-ABS-KEY%28%22life+cycle+sustainability+assessment%22%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze>. Acesso em: 28 jul. 2024.

SGROI, Filippo; CANDELA, Matteo; TRAPANI, Anna; FODERÀ, Mario; SQUATRITO,

Riccardo; TESTA, Riccardo; TUDISCA, Salvatore. Economic and Financial Comparison between Organic and Conventional Farming in Sicilian Lemon Orchards. *Sustainability*, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 947–961, 2015. DOI: 10.3390/su7010947. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/947>.

SILVA, Bernardo et al. **Plano nacional de fertilizantes 2050 : uma estratégia para os fertilizantes no Brasil**. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/confert/pnf/pnf-v-08-06-12-23.pdf>.

SILVA, Amanda Paulina Bezerra Da; BOTERO, Wander Gustavo; CARMO, Janaina Braga Do; FERNANDES, Andréa Pires. **Influência do Tipo de Manejo (Orgânico e Convencional) na Matéria Orgânica de Solos Cultivados com Citros**. [s.l.] : Atena Editora, 2019. DOI: 10.22533/at.ed.126190509. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/arquivos/ebooks/influencia-do-tipo-de-manejo-organico-e-convencional-na-materia-organica-de-solos-cultivados-com-citros>.

SILVA, Daiane Vitória Da; PAVAN, Ana Laura Raymundo; FARIA, Luiz Carlos De; PIEKARSKI, Cassiano Moro; SAAVEDRA, Yovana María Barrera; LOPES SILVA, Diogo A. Opportunities to integrate Ecosystem Services into Life Cycle Assessment (LCA): a case study of milk production in Brazil. *Ecosystem Services*, [S. l.], v. 69, p. 101646, 2024. DOI: 10.1016/j.ecoser.2024.101646. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212041624000536>.

SILVA, Marcelo J. Da; SOUZA, Samuel N. M. De; SOUZA, Abel A.; MARTINS, Gislaine I.; SECCO, Deonir. Motor gerador ciclo diesel sob cinco proporções de biodiesel com óleo diesel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 320–326, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000300014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000300014&lng=pt&tlng=pt.

SILVA, DIOGO APARECIDO LOPES;; MASONI, PAOLO. **Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia: análise crítica das principais políticas de gestão, manutenção e uso de bancos de dados internacionais de inventários do ciclo de vida de produto**. Brasília: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, 2016. v. 1

SINISTERRA-SOLÍS, Nelson; SANJUÁN, Neus; RIBAL, Javier; ESTRUCH, Vicent; CLEMENTE, Gabriela. An approach to regionalise the life cycle inventories of Spanish agriculture: Monitoring the environmental impacts of orange and tomato crops. *Science of the Total Environment*, [S. l.], v. 856, n. July 2022, 2023. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158909.

SONNEMANN, Guido; MARGNI, Manuele (EDS.). **Life Cycle Management**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2015. DOI: 10.1007/978-94-017-7221-1. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-7221-1>.

SOUZA, Jessé. **A elite do atraso**. 1. ed. Rio de Janeiro: Estação Brasil, 2019.

SPRINGER NATURE. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. 2024. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/11367>. Acesso em: 12 jan. 2024.

SPRINGER NATURE. **Biomass Conversion and Biorefinery**. 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/13399>. Acesso em: 3 jan. 2025.

STILLITANO, Teodora; SPADA, Emanuele; IOFRIDA, Nathalie; FALCONE, Giacomo; DE

LUCA, Anna Irene. Sustainable Agri-Food Processes and Circular Economy Pathways in a Life Cycle Perspective: State of the Art of Applicative Research. **Sustainability**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 2472, 2021. DOI: 10.3390/su13052472. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2472>.

TACHE, Jose Innoncent Tamdjo; FAI, Patricia Bi Asanga; TAMUNGANG, Simon Awafor; RIEGERT, Jan. Use of pesticides and risk perception of environmental contamination by farmers surrounding the Menoua River (West Cameroon). **Integrated Environmental Assessment and Management**, [S. l.], v. 19, n. 6, p. 1600–1608, 2023. DOI: 10.1002/ieam.4745. Disponível em: <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ieam.4745>.

TEIGISEROVA, Dominika Alexa; HAMELIN, Lorie; TIRUTA-BARNA, Ligia; AHMADI, Aras; THOMSEN, Marianne. Circular bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading production from orange peel waste under current and future electricity mixes. **Science of the Total Environment**, [S. l.], v. 812, p. 152574, 2022. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152574. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152574>.

TESTA, Riccardo; FODERÀ, Mario; DI TRAPANI, Anna Maria; TUDISCA, Salvatore; SGROI, Filippo. Choice between alternative investments in agriculture: The role of organic farming to avoid the abandonment of rural areas. **Ecological Engineering**, [S. l.], v. 83, n. 2092, p. 227–232, 2015. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.06.021.

TRAVERSO, M. et al. **Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment (S-LCA)**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2021/12/Methodological-Sheets_2021_final.pdf.

TROULLAKI, Katerina; ROZAKIS, Stelios; KOSTAKIS, Vasilis. Bridging barriers in sustainability research: A review from sustainability science to life cycle sustainability assessment. **Ecological Economics**, [S. l.], v. 184, p. 107007, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2021.107007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921800921000653>.

TYSZLER, Marcelo; KRAMER, Gerard; BLONK, Hans. Comparing apples with oranges: On the functional equivalence of food products for comparative LCAs. **International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 19, n. 8, p. 1482–1487, 2014. DOI: 10.1007/s11367-014-0762-x.

UNITED NATIONS. **Report of the World Commission on Environment and Development**. World Commission on Environment and Development. New York. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-42302009000600016&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

VAHDAT, Vahíd Shaikhzadeh; BORSARI, Pietro Rodrigo; LEMOS, Patricia Rocha; RIBEIRO, Flávia Ferreira; BENATTI, Gabriela Solidario de Souza; CAVALCANTE FILHO, Pedro Gilberto; FARIAS, Bruno Graebin De. **Retrato do Trabalho Informal no Brasil: desafios e caminhos de solução**. São Paulo. Disponível em: <https://retratodotrabalhoinformal.com.br/website/wp-content/uploads/2022/06/Retrato-do-Trabalho-Informal-no-Brasil.pdf>.

VAN DER WERF, Hayo M. G.; KNUDSEN, Marie Trydeman; CEDERBERG, Christel. Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. **Nature Sustainability**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 419–425, 2020. DOI: 10.1038/s41893-020-0489-6.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>.

VASCONCELLOS, Matheus Soares; OLIVEIRA, Edenis Cesar De. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MADEIREIROS: ESTUDO EM EMPRESAS MADEIREIRAS NO MUNICÍPIO DE BURI - SP. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, n. 10, p. 78118–78146, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-296. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/18227/14719>.

VIEIRA CABRAL, Ivens Bruno; NOBRE DA SILVA, Pedro Henrique; DE OLIVEIRA SOUZA, Diego. PRECARIZAÇÃO DO TRABALHO E SAÚDE DO TRABALHADOR. **Trabalho & Educação**, [S. l.], v. 30, n. 3, p. 51–65, 2022. DOI: 10.35699/2238-037X.2021.25729. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/trabedu/article/view/25729>.

VIRTANEN, Marianna; KIVIMÄKI, Mika; JOENSUU, Matti; VIRTANEN, Pekka; ELOVAINIO, Marko; VAHTERA, Jussi. Temporary employment and health: a review. **International Journal of Epidemiology**, [S. l.], v. 34, n. 3, p. 610–622, 2005. DOI: 10.1093/ije/dyi024. Disponível em: <http://academic.oup.com/ije/article/34/3/610/682271/Temporary-employment-and-health-a-review>.

VISENTIN, Caroline; DA SILVA TRENTIN, Adan William; BRAUN, Adeli Beatriz; THOMÉ, Antônio. Social life cycle assessment of the nanoscale zero-valent iron synthesis process for application in contaminated site remediation. **Environmental Science and Pollution Research**, [S. l.], v. 29, n. 15, p. 21603–21620, 2022. DOI: 10.1007/s11356-021-17319-3. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s11356-021-17319-3>.

VISENTIN, Caroline; TRENTIN, Adan William da Silva; BRAUN, Adeli Beatriz; THOMÉ, Antônio. Life cycle sustainability assessment: A systematic literature review through the application perspective, indicators, and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 270, p. 122509, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122509. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620325567>.

WAFI, Wafaurahman; SHARAAI, Amir Hamzah; MATTHEW, Nitanan Koshy; HO, Sabrina Abdullah J.; AKHUNDZADA, Noor Ahmad. Organizational Life Cycle Sustainability Assessment (OLCSA) for a Higher Education Institution as an Organization: A Systematic Review and Bibliometric Analysis. **Sustainability**, [S. l.], v. 14, n. 5, p. 2616, 2022. DOI: 10.3390/su14052616. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/2616>.

WANG, Lin; KUPERBERG, Gina R. Better together: integrating multivariate with univariate methods, and MEG with EEG to study language comprehension. **Language, Cognition and Neuroscience**, [S. l.], p. 1–29, 2023. DOI: 10.1080/23273798.2023.2223783. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23273798.2023.2223783>.

WEIDEMA, B. P.; BAUER, C.; HISCHIER, R.; MUTEL, C.; NEMECEK, T.; REINHARD, J.; VADENBO, C. O.; WERNET, G. **Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://ecoinvent.org/wp-content/uploads/2020/10/dataqualityguideline_ecoinvent_3_20130506_.pdf.

WERNET, Gregor; BAUER, Christian; STEUBING, Bernhard; REINHARD, Jürgen; MORENO-RUIZ, Emilia; WEIDEMA, Bo. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [S. l.], v. 21, n. 9, p. 1218–1230, 2016. DOI: 10.1007/s11367-016-1087-8. Disponível em:

<http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>.

WRI BRASIL; UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP). **Metodologia do GHG Protocol da agricultura**. Campinas. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/Metodologia.pdf>.

XIAOJUN, Yan; HAKAM, Dzikri Firmansyah. Advanced Financial and Risk Feasibility Assessment of Indonesia's Binary Geothermal Plant with Carbon Credit Integration. **International Journal of Energy Economics and Policy**, [S. l.], v. 14, n. 6, p. 230–245, 2024. DOI: 10.32479/ijeep.16903. Disponível em: <https://econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/16903>.

YADAV, Vineet; MALANSON, George P.; BEKELE, Elias; LANT, Christopher. Modeling watershed-scale sequestration of soil organic carbon for carbon credit programs. **Applied Geography**, [S. l.], v. 29, n. 4, p. 488–500, 2009. DOI: 10.1016/j.apgeog.2009.04.001. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0143622809000265>.

YANG, Sheng; MA, Kebo; LIU, Zhiqiang; REN, Jingzheng; MAN, Yi. Development and applicability of life cycle impact assessment methodologies. In: **Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making**. [s.l.] : Elsevier, 2020. p. 95–124. DOI: 10.1016/B978-0-12-818355-7.00005-1. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128183557000051>.

ZEM, Rafaela. **Após reencontrar parentes, família resgatada de trabalho análogo à escravidão procura por emprego: “Recomeço.”** 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/itapetininga-regiao/noticia/2023/03/20/apos-reencontrar-parentes-familia-resgatada-de-trabalho-analogo-a-escravidao-procura-por-emprego-recomeco.ghtml>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ZHANG, Mei; FANG, Kai; ZHANG, Danting; ZENG, Dejie. Relationship between the evaluation of agricultural scientific and technological innovation capacity and the influencing factors of green agriculture. **PLOS ONE**, [S. l.], v. 18, n. 11, p. e0295281, 2023. DOI: 10.1371/journal.pone.0295281. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0295281>.

ZIRA, Stanley; RÖÖS, Elin; RYDHMER, Lotta; HOFFMANN, Ruben. Sustainability assessment of economic, environmental and social impacts, feed-food competition and economic robustness of dairy and beef farming systems in South Western Europe. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 36, p. 439–448, 2023. DOI: 10.1016/j.spc.2023.01.022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.01.022>.

ZORTEA, Rafael Batista; MACIEL, Vinícius Gonçalves; PASSUELLO, Ana. Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle approach. **Sustainable Production and Consumption**, [S. l.], v. 13, n. May, p. 102–112, 2018. DOI: 10.1016/j.spc.2017.11.002.

APÊNDICE 1

Figura 19 - descrição do sistema de pontos por indicador

<i>Indicadores</i>	<i>Método de avaliação de impacto</i>	<i>Descrição</i>
Trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno	+1	Salário maior a R\$ 1.550,00
	0	Salário igual a R\$ 1.550
	-1	Salário menor que R\$ 1.550,00 ou sem dados sobre salário do funcionário
Presença de deduções suspeitas nos salários	+1	Nunca houve nenhuma dedução no salário do trabalhador
	0	Houve deduções no salário do trabalhador com justificativa legal
	-1	Houve deduções nos salários dos trabalhadores sem justificativa legal ou não soube informar se já houve dedução no salário do trabalhador
Pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal)	+1	Pagamento antecipado, regular e registro em carteira
	0	Pagamento regular com registro em carteira
	-1	Pagamento irregular, sem registro em carteira ou sem informações regularidade dos pagamentos e registro em carteira
Número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados	+1	40 horas semanais
	0	44 horas semanais ou 240 horas mensais
	-1	220 horas mensais sem direito a uma folga remunerada no mês ou sem dados sobre as horas de trabalho dos funcionários
Número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados	+1	Aproveita todos os feriados sejam municipais, estaduais ou federais além de comemorações de fim de ano

	0	Aproveita somente as comemorações de fim de ano
	-1	Não aproveita nenhum feriado ou comemoração de fim de ano ou sem dados sobre trabalho dos funcionários em feriados e comemorações de fim de ano
Respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras	+1	Realiza o previsto na legislação trabalhista proporcionando acordos benéficos aos funcionários sobre horas extras
	0	Não há pagamento de horas extras, mas há banco de horas para descontar
	-1	Não há pagamento de horas extras e banco de horas para descontar ou sem dados a respeito dos acordos contratuais referentes a hora extra
A organização oferece flexibilidade	+1	A empresa rural fornece flexibilidade de trabalho, além de conceber alguns benefícios
	0	A empresa rural fornece flexibilidade desde que devidamente justificado
	-1	A empresa rural não oferece flexibilidade ou sem dados sobre a oferta de flexibilidade
Os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo	+1	Há anuência com os termos do emprego, cópia do contrato de trabalho consigo e negociação periódica sobre alterações nos termos do contrato
	0	Há anuência com os termos do contrato de trabalho expressa

	-1	Não há anuência expressa com os termos do trabalho ou sem dados sobre o contrato de trabalho
Certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego	+1	Não há retenção de nenhum documento pessoal dos funcionários e há confecção de crachás ou itens de identificação pessoal
	0	Há retenção de documentos pessoais temporariamente
	-1	Há retenção de documentos pessoais pela empresa por motivos de segurança ou sem dados sobre retenção de documentos pessoais pela empresa
Os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes	+1	Os trabalhadores podem pedir demissão e ter seus direitos por tempo de serviço resguardados
	0	Os trabalhadores podem pedir demissão desde que cumpram o aviso prévio
	-1	Os trabalhadores não podem pedir demissão ou sem dados a respeito da possibilidade de pedido de demissão
Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador	+1	Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas
	0	Em caso de aquisição de dívidas, devem permanecer no trabalho até as mesmas serem quitadas
	-1	Os trabalhadores estão vinculados em virtude de dívidas ou sem dados sobre a vinculação por dívidas entre trabalhador e empregador
Número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização	+1	Não há nenhum acidente fatal registrado pela empresa

		agrícola além de constante capacitação para uso dos equipamentos de proteção individual
	0	Há acidentes registrados pela empresa agrícola, mas não foram fatais
	-1	Há acidentes fatais registrados pela empresa ou sem dados sobre acidentes fatais ou lesões
Presença de regras referente à saúde e segurança	+1	Há regras e instruções para a saúde e segurança dos trabalhadores
	0	Há regras para a segurança do trabalhador, mas sem instruções
	-1	Não há regras para a saúde e segurança do trabalhador ou sem dados sobre regras referentes a saúde e segurança dos trabalhadores
Equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis	+1	Há equipamentos de proteção individual aos trabalhadores e instruções para uso
	0	Há equipamentos de proteção individual, mas seu uso não é exigido
	-1	Não há equipamentos de proteção individual ou sem dados sobre equipamentos de proteção individual

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE 2

As informações detalhadas sobre todos os estudos analisados, desde título e resumo até a avaliação completa na revisão sistemática de literatura podem ser acessadas pelo link a seguir: https://1drv.ms/x/s!AqhPX_tSzDIphNoMO56YLuVeeym65g?e=9Zd9bu. A Tabela 21 evidencia os estudos analisados na etapa de leitura completa.

Tabela 21 - artigos analisados na revisão de literatura

Nº. Id.	Título	Autores	Objetivo do estudo	Tipo de avaliação do ciclo de vida	Fases/atividades incluídas no estudo (Limites do sistema)	Tipo do sistema de produto	Unidade funcional	Banco de dados (dados de referência)	Método de AICV	Categorias de impacto avaliadas	Software	Tipo de análise	Principais resultados	Outras observações importantes	Cobertura geográfica (País, local ou região de estudo)	Revista de publicação	Abordagem
003	Evaluating the environmental performance of orange production in Veracruz, Mexico: A life cycle assessment approach	Bonales-Revuelta, J.; Musule, R.; Navarro-Pineda, F.S.; García, C.A.	This study seeks to evaluate the environmental impact of orange cultivation in Mexico. It offers an overview of Mexican orange producers, categorized by farming methods and scale, and presents an environmental snapshot of the country's orange production. This foundation aids in analyzing the environmental effects of products derived from Mexican oranges	Attributional analysis	The LCA encompasses stages such as land preparation, production and application of fertilizers, creation and deployment of pesticides, along with the cultivation and harvesting of oranges. Both conventional and organic orange production methods are presumed to undergo the same phases and processes. The distinction between them primarily arises from the types and components of fertilizers and pesticides used	Cradle-to-farm gate	1 ton of fresh orange	Ecoinvent v3.5 database	CML-IA baseline EU2.5 v3.03; Cumulative Energy Demand (CED) LHV 1.00 method; and Water consumption by Ecoinvent	Abiotic Depletion Potential (ADP), Acidification Potential (AP), Eutrophication Potential (EP), Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential (FWAEP), Global Warming Potential (GWP), Human Toxicity Potential (HTP), Marine Aquatic Ecotoxicity Potential (MAEP), Ozone Layer Depletion Potential (ODP), Photochemical Oxidation Potential (POP), and Terrestrial Ecotoxicity Potential (TEP)	Simapro PhD v9.0	-	-	A Principal Component Analysis (PCA) was executed to juxtapose the environmental impact variations across all stages of the four examined orange production systems. This PCA was conducted using the XLSTAT software (Addinsoft, 2021). Within the PCA framework, the observations or entities represented the six stages of each of the four orange production processes. Conversely, the variables were tied to the 14 impact categories derived from the LCA for each system under scrutiny	México	Journal of Cleaner Production	Environmental
005	Life cycle assessment of Italian citrus-based products. Sensitivity analysis and improvement scenarios	Beccali, M.; Cellura, M.; Iudicello, M.; Mistretta, M.	The paper aims to assess the environmental impacts of citrus production and transformation processes to identify the most significant issues and suggest suitable options for improvement	Attributional analysis	Cultivation and harvest of citrus fruit (lemons and oranges) in Sicily; production and transportation of raw materials and fuels during all steps, via road lorries; The processing of the citrus-derived products with regard to the production cycle of a Sicilian factory, the	cradle to gate	In the examined product system, six different FUs have been defined, 1 kg of each final product delivered by the manufacturer to distribution	Primary data were collected from the field, while secondary data have been taken from international literature and international databases; the data complies with quality requirements of	Not specified	Cumulative energy demand (CED); Global warming potential (GWP100); Acidification potential (AP); Eutrophication potential (NP); Photochemical ozone creation potential (POCP); Water consumption	Sima-Pro 7	Sensitivity analysis	The sensitivity analysis results affirm that each evaluated eco-profile is distinctly affected by the uncertainty study. Although varying assumptions regarding initial data and methodologies sometimes lead to significant changes in the energy and environmental outcomes of the final products, the essential oil functional units consistently register the most substantial impacts. In contrast, the natural juice functional units emerge as the least impacting products. The	The choice of the allocation method is controversial in LCA studies, mostly due to its large influence on the final results; The allocation of environmental burdens is a significant	Italy	Journal of Environmental Management	Environmental

					examined company is representative in size for its region; its yearly production is approximately the regional average for one year; packaging: the sampled firm does not recover/recycle either the tanks containing the essential oil and concentrated juice or the tankers used for natural juice delivery; they are disposed as wastes; transport of final products to distribution firms, using road tankers within Italy and Europe, and by sea freight within Italy and from Italy to the USA and Japan;	centres in Italy, Central Europe, the United States and Japan: oranges essential oil (FU1); oranges natural juice (FU2); oranges concentrated juice (FU3); lemons essential oil (FU4); lemons natural juice (FU5); lemons concentrated juice (FU6).	the European Platform on Life Cycle Assessment					selection of an allocation method remains a contentious issue in LCA (Life Cycle Assessment) studies, primarily because of its significant influence on the ultimate findings. This impact is evident in the present study, as the scenario analysis of allocation reveals that the eco-profiles of citrus products are heavily reliant on the selected method. Determining the most appropriate approach is not always straightforward. To accurately identify it, one must have a thorough understanding of the system's behavior and access to detailed information about the sub-processes within the system. The conducted LCA research highlights that cultivation represents the phase with the most substantial water footprint, attributable to the direct usage in irrigation and indirect utilization for water supply. The process involved in producing the necessary water quantity further consumes water, contributing approximately 50% to the total volume demanded for cultivation purposes. The concept of reusing municipally purified water for irrigation stands as a practical proposition in Sicily to curtail the consumption of freshwater. This approach involves utilizing water from treatment facilities—either existing or under construction—that use biological treatment methods and are situated close to irrigation zones. Essentially, this strategy would enable the recycling of substantial volumes of water that would otherwise end up in the sea. On a broader scale, such enhancement analysis could lead to significant reductions in both Cumulative Energy Demand (CED) and Global Warming Potential (GWP). The notable conservation of freshwater across all functional unit (FU) eco-profiles primarily stems from the proposed use of recycled wastewater. Additionally, substantial energy savings and, therefore, a reduction in GWP could be achieved by adopting the Mechanical Vapor Recompression (MVR) option in the concentrated juice eco-profiles and by substituting road transport with rail.	methodological problem in LCAs. Allocation is an artefact of applying LCA to individual products rather than to the whole productive system. The allocation procedure should either be avoided by expanding system boundaries or disaggregating the process into different sub-processes, or it should be solved by a suitable and consistent method (ISO 14044, 2006).				
008	Comparing apples with oranges: On the functional equivalence of food products for comparative LCAs	Tyszler, M.; Kramer, G.; Blonk, H.	Recognizing the significant role of transportation in vegetable product supply chains, and aiming to enhance the carbon footprint (CF) evaluation of foods, this study delves deeper to examine the variability in post-harvest (PH) stages and how they impact the CF of Valencian oranges	Attributional analysis	Agriculture, encompassing farming practices and the production of agricultural inputs; post-harvest processing, covering the transportation of oranges to the PH center, their treatment, and packaging; production; and distribution and end-of-life (EoL), addressing the exportation of oranges to European nations and the management of packaging waste post-sale.	Gate-to-grave	1 kg oranges at EU	Data for the farming stage were elicited from surveys of orange producers; Data for the post-harves process were elicited from one representative post-harves centre in the region, which exports both organic and conventional citrus; other primary data, such as prices, production of oranges in the	Not specified	Carbon footprint	GaBi	Analysed variability	For conventional oranges, the distribution and end-of-life phase had the highest carbon footprint, accounting for 59.4% of the overall baseline carbon footprint. This high contribution is attributed to the use of refrigerated trucks for exporting to Europe. Meanwhile, the post-sale packaging end-of-life treatment had a reduced impact due to benefits from waste incineration electricity generation. Additionally, the agricultural phase contributed to 34.1% of the oranges' carbon footprint. Results of the variability analysis. The disparity in farming impact between traditional and organic oranges largely stems from organic farms exclusively using manure as fertilizer, thereby bypassing the carbon footprint from chemical fertilizer production. Additionally, organic oranges have a	Bootstrap techniques can be used to identify significant differences between mean carbon footprint from small samples and estimate the mean carbon footprint's confidence intervals. The outlined procedure, while specific, addresses a common scenario and utilizes the mean as the primary statistic	Spain	International Journal of Life Cycle Assessment	Environmental

							region and the quantity of oranges exported were obtained from the official sources previously cited; GaBi professional database						reduced post-harvest treatment impact because they don't undergo degreening or use fungicides, though the former only accounts for 0.3% of traditional oranges' carbon footprint. The analysis reveals that traditional farming has a notably higher carbon footprint compared to organic methods. Transport's significance differs among food types; it's more pronounced for fresh fruits and vegetables because their processing consumes less energy. When comparing carbon footprint data, it's crucial to consider the set system boundaries. Studies with boundaries ending at the farm gate often exclude by-products or fruit losses, resulting in a lower carbon footprint. On the other hand, the consumer and retailer preference for flawless fresh fruit necessitates rigorous management practices, bringing associated environmental impacts.	for aggregated carbon footprint calculations. Other statistics like median or variance can also be considered. The non-parametric approach's strength lies in capturing overall variability, accounting for different subsystems. By assessing carbon footprint variability, we get a more accurate measure of the mean impact and can pinpoint low carbon footprint practices, aiding in the development of strategies to cut down greenhouse gas emissions			
016	Global warming impact of Florida's Not-From-Concentrate (NFC) orange juice	Dwivedi, P.; Spreen, T.; Goodrich-Schneider, R.	Develop a baseline of GHG emissions associated with the production and consumption of Florida's orange juice. It is expected that this critical information will help the orange juice industry of the state in improving its environmental performance and thus, facilitating the state in meeting established GHG reduction targets.	Attributional analysis	Site preparation; management of a mature orange grove; transporting oranges from an orange grove to a citrus processing plant (97 km); citrus processing plant; transporting stored Not-From-Concentrate orange juice from a citrus processing plant to a packaging plant (64 km); packaging of Not-From-Concentrate orange juice into 1893 (64 fluid ounces) cartons; transporting packed Not-From-Concentrate orange juice carton to food store (1000 km); storing packed Not-From-Concentrate orange juice in a food store till it is sold to a final customer	Gate-to-grave	Not-From-Concentrate orange juice available at a local food store in a standard packing of 1.893 L (64 fluid oz).	Franklin Associates Environmental Database; TRACI Database; and literature	TRACI Database	Global warming impact	Simapro 7.2	Comparative life cycle assessment	The global warming impact of the step management of orange grove for 30 years contributes about 52% and 56% towards overall global warming impact under the scenarios of with and without resetting, respectively. The overall global warming impact of the Not-From-Concentrate orange juice produced under the scenario of with resetting was about 10% less than the overall global warming impact of the Not-From-Concentrate orange juice produced under the scenario of without resetting. This can be attributed mostly to the increased fruit production due to resetting. The total availability of orange juice from a hectare of grove increases by about 21% under the scenario of with resetting when compared with the scenario of without resetting. This clearly implies that resetting helps in reducing the global warming impact of the Not-From-Concentrate orange juice. It was also found that use of fertilizers at an orange grove contributed significantly towards global warming impact of the produced orange juice. Reducing use of fertilizers would definitely help in reducing the global warming impact of the produced Not-From-Concentrate orange juice in both the scenarios. Similarly, focus should also be on achieving higher conversion efficiencies at a citrus plant so that global warming impact of the Not-From-Concentrate orange juice can be reduced further. Additionally, use of electricity produced using various renewable energy sources like wind, solar, and biomass could also help in reducing global warming impact of the Not-From-Concentrate orange juice at the plant and elsewhere within the system boundary.	Point the carbon sequestration issue must be confronted and incorporated into the analysis. The energy and material use values in this study were collected by interviewing different individuals who are involved with either one or more than one steps of the supply chain. Though authors have attempted to verify the information, but still uncertainties in the primary data cannot be overruled. It is expected that in the future emissions incurred at the nursery level will be accommodated into the analysis. Moreover, we were not able to conduct a sensitivity analysis due to lack of a model which explains the relationship between fertilizer use and orange productivity at the grove.	United State of America	Agricultural Systems	Environmental

022	Comparative environmental life cycle assessment of orange peel waste in present productive chains	Mariana, O.-S.; Alzate, C.; Ariel, C.	Evaluate the environmental impact of different complexity scenarios of biorefineries (in terms of units processing) and compared with landfill disposal. Low, medium and high complexity biorefineries were evaluated to determine how the increase of orange peel waste valorization process affects the environmental impact. Additionally, it was demonstrated that the environmental impact of the orange peel waste valorization through the biorefinery concept (considering different complexity scenarios) in the orange productive chain is lower than the current disposal	Attributional analysis	The first system corresponds to the orange crop. For this system, the input and output (i.e., agrochemicals, irrigation, diesel consumption, etc.) of 1 crop hectare equivalent to 18,000 kg of orange produced in a grown cycle were considered (DANE-Banco de la Republica, 2016). A grown cycle is equivalent to 5.6 years of cultivation. This system was composed of five subsystems: The first subsystem comprises plant germination; the orange graft is considered in the second subsystem which is the nursery; the third subsystem is the orange production, which is site preparation; the fourth subsystem is vegetative growth; the fifth subsystem is orange harvesting. The process of juice production comprises the lowest complexity of industrial processing. The process consists of the reception of the fruit, selection, washing and sizing, and mechanical extraction of the juice	Cradle-to-gate	1 L of orange juice	Scientific literature, computer models, and surveys were used; associations of citrus farmers in Colombia; open literature (Larocca, 2000), (MINCIT, 2016), (Agronegocios, 2019), (Francisco Javier and Ernesto, 2016), (Berk, 2016), (Stoltz, 2012); SimaPro; the data reported by Negro et al. (2017) and Manfredi and Christensen (2009); the Aspen Plus V.9 software; Ecoinvent 3 database	Not specified	climate change (CC), terrestrial acidification (TA), human toxicity (HT), freshwater ecotoxicity (FE), Marine ecotoxicity (MEc), ionizing radiation (IR), agricultural land occupation (ALO), urban land occupation (ULO) water depletion (WD), metal depletion (MD) and fossil depletion (FD)	SimaPro 8.3 software	Comparative environmental life cycle assessment; sensitivity analysis	The low complexity biorefinery scenario showed a high essential oil production by steam distillation. The most important component in the essential oil was D-limonene. The essential oil is the most expensive product compared to the other products. Biogas from orange peel waste presented a methane content higher than 50 per cent. This energy vector can produce energy to supply a share of the required steam distillation energy consumption. The fertilizer derived from the anaerobic digestion process can be used as a potential source of nutrients in orange crops since this fertilizer has many minerals. The medium complexity biorefinery is addressed to produce essential oil, pectin, biogas, and fertilizer with a high energy consumption compared to the low complexity scenario. The medium complexity biorefinery has a high raw materials consumption. This fact is attributed to the pectin stage. Finally, the high complexity biorefinery has the highest mass and energy consumption since more streams are required to produce and purify the products. The impacts of agrochemicals, transportation, consumed diesel, and natural resources used during cultivation were grouped. Climate change is the most representative category to compare the results. The categories that presented the most significant impact for these processes were photochemical oxidant formation, terrestrial ecotoxicity and the categories mentioned above. The sensitivity analysis with the variation of the allocation gave different results. The climate change category presented values of 1.81, 3.8 and 5.18 kg carbon dioxide equivalent with mass allocation and 0.72, 0.72 and 0.26 kg carbon dioxide equivalent with economic allocation. In the case of mass allocation, the climate change increases as the complexity of the biorefinery increases. In the case of economic allocation, the behavior is different. As the complexity of the biorefinery increases, the climate change decreases. This behavior is evidenced in all the categories evaluated. In the orange crop to produce 1 kg of orange, agrochemical addition contributes 47.3% of the climate change category. This result is similar to the value reported by Doublet et al. (2013) with a contribution of 41% in climate change generating 1.65 kg carbon dioxide equivalent. The most impacted categories by the agrochemicals use were marine ecotoxicity, agricultural land occupation, human toxicity, urban land occupation and metal depletion. The application of nitrogen and sulfur fertilizers generates NO ₃ , PO ₄ -3 contaminating groundwater. The phosphorus run-off and leaching from land also impacts FWEc and ME. These categories are related to pesticide additions and chlorpyrifos emissions. About the agricultural land occupation category, the use of	The environmental evaluation of different biorefinery scenario for the valorization of orange peel waste using the life cycle analysis methodology allowed identifying that regardless of the complexity of the process in terms of processing units, this alternative is better than having the orange peel waste in landfills. In addition, an increase of the biorefinery complexity increases the releases to the environment considering a mass allocation. This trend was not found when economic allocation was defined. This behavior was attributed to the addition of added value products, that decreases the allocation of the functional unit defined in this work. The best allocation to analyze the proposed scenarios is the mass distribution. An uncertainty analysis must be considered to determine the certainty of the obtained results. For the research objective stated, a change of the attributional analysis to a consequential analysis is not possible since products such as pectin, essential oil, ethanol, butanol, acetone, and orange juice cannot be considered as process inputs.	Colombia	Journal of Cleaner Production	Environmental

agrochemicals in orange cultivation was the highest. The reason is the exploitation of natural resources and land uses. These are needed for the production of agrochemicals reflected in ULO. The chromium, zinc, and copper emissions generated in the field addition of fertilizers contribute significantly to HT and MD. Nitrogen-based fertilizers are the most consumed in orange cultivation. The N₂O emissions generated using these fertilizers contribute to obtain highest values in the climate change category. The production of nitric acid (the basis of these fertilizers) contributes to climate change with emissions of carbon dioxide. Diesel use was the second group with the most significant impact on orange cultivation. Diesel is used in the aspersión, strimmer, chainsaw, and tractor system for site preparation, planting, and vegetative growth. In Colombia, the fruit is generally collected manually. Then, the consumption of diesel was not considered when harvesting the crop. The categories, most impacted by the diesel consumption were IR, FD, and climate change. The IR and FD categories have the highest weight for the consumption of diesel due to the impacts that its production generates. On the other hand, the carbon dioxide and carbon emissions associated with the use of biodiesel were reflected in climate change. Regarding the use of natural resources, the WD category was the one that has more weight. This last result is due to the irrigation required by the crop. The disposition of orange peel waste in landfills had a greater environmental impact in all the categories analyzed compared to the valuation of this through the concept of biorefinery. This behavior is attributed to the large amount of gases and leachate produced after the orange peel waste decomposition. more than 50% of the environmental impact is attributed to the agronomic stage. The environmental footprint of the orange juice production process is low. This result can be explained due to the relatively low energy and materials consumption in the orange juice production process. The disposition of orange peel waste in landfills is the worst option from the environmental perspective. This option has been implemented traditionally by orange juice producers since the process allow implementing this option, and the environmental performance of the process has not been an issue until now. From the obtained results in this study and other similar works reported in the open literature, orange juice producers could consider other alternatives to dispose of or valorize orange peel waste. For instance, Negro et al. (2017) has reported other disposition alternatives as better options. Ortiz et al. (2020b) studied the energy performance of the use of orange peel waste as an energy source in boilers. These options can be considered as the nearest options in the

													future since the full implementation of a biorefinery configuration, or stand-alone upgrading in most cases, requires high capital investments. There is a significant reduction of the environmental impact according to all impact categories. This fact can be attributed to the low amount of solid, liquid, and gaseous releases. Additionally, the use of orange peel waste digestate to be used as a biofertilizer in orange crop to reduce the environmental impact of the production and addition of agrochemicals can be considered. This is a way to increase the sustainability of food processing. The product portfolio increases so that profits could increase. The E-LCA of the proposed biorefineries shows a better environmental performance than the disposition of orange peel waste in landfills. This statement as logically expected is verified by the results. The valorization of orange peel waste contributes to reducing greenhouse gases emissions, water releases, and fossil fuel use since the midpoint impact categories related to these aspects are the lowest in the biorefinery cases. Low complexity biorefineries have the lowest environmental impact since the energy demand and waste streams are low. In contrast, more complex processes require more energy. The biorefinery complexity is directly proportional to the environmental impact. A more in-depth assessment of the influence of the complexity level of the biorefinery on the environmental performance of the valorization of any biomass should be done since it depends on several process factors. Mass and energy integration, self-energy supply, and process intensification are examples of process design options to improve the overall performance of a process leaving aside the complexity level				
031	Life cycle assessment of the Argentine lemon and its derivatives in a circular economy contexto	Machin Ferrero, L.M.; Wheeler, J.; Mele, F.D.	Present an environmental profile of current lemon- based products for the first time in Argentina, and to unveil environmental implications of shifting from traditional industries to biorefineries via circular economy strategies	Attributional analysis	Agriculture, Transportation and Biorefinery, In our analysis, Biorefinery includes those processes that simultaneously produce concentrated juice, essential oil, limonene —a high-valued component of the essential oil losses—, and biogas. We assume that this subsystem is a modification of the Industry subsystem in the conventional scheme and that both share the Agriculture and Transportation subsystems. In the proposed biorefinery scheme, lemon peel, which is washed and dehydrated in the conventional process, is an intermediate for manufacturing	Cradle to gate	The production of 1 ton of each product at the gate of a lemon processing plant located in Tucumán	Primary data is collected through interviews to representative local experts: lemon growers and manufacturers. Data gaps are filled with secondary data from technical reports from local research institutions, INTA (2021) and (EFAOC 2021). Data on the new biorefinery schemes are taken from the scientific literature and then adapted through process simulation to the features of the raw material in Tucumán. The	The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) method	The study selected impact categories from the ILCD method, including Climate Change (CC), Human Toxicity Non-Cancer Effects (NT) and Cancer Effects (CT), Particulate Matter (PM), Photochemical Ozone Formation (PO), Acidification (AC), Terrestrial Eutrophication (TE), Freshwater Eutrophication (FE), Marine Eutrophication (ME), Freshwater Ecotoxicity (FX), Water Resource Depletion (WD), Mineral, Fossils and Renewables Resource Depletion (MD).	SimaPro 9.1.0.11	Scenarios analyzed	The agricultural stage has a significant environmental impact, with agrochemicals accounting for more than 60% across eleven impact categories for lemon production. For processed lemon products, the agricultural contribution exceeds 50% in all categories. This is followed by contributions from natural gas and electricity consumption. The study remarks that simply adding value to waste (valorization) and implementing circular economy strategies does not guarantee better environmental performance of the system. When comparing current production methods with biorefinery scenarios, the scenario where all biogas is utilized to produce electricity shows the least environmental impact in Climate Change (CC); Particulate Matter (PM); Freshwater Eutrophication (FE); Marine Eutrophication (ME); Acidification (AC); Terrestrial Eutrophication (TE); Photochemical Ozone Formation (PO); Freshwater Ecotoxicity (FX) out of twelve categories. The environmental profiles for each product were established	The study notes that adding value to wastes and implementing circular economy strategies do not ensure a better environmental performance of the system. The most promising scenario was one where all biogas is used to produce electricity, causing the least impact in eight of the twelve categories analyzed	Argentina	Sustainable Production and Consumption	Environmental

					limonene, ethanol and biogas. There is no transportation of lemon peel since we assume that its processing occurs in the same facilities used for juice and oil extraction.			lack of data related to manufacturing, packaging, and transportation of inputs, as well as production and use of energy, is solved by utilizing specialized literature, handbooks and databases (e.g., Ecoinvent v3.5, Moreno Ruiz et al., 2018).					considering both mass and economic allocation methods. The article suggests that the findings have implications for the definition of Product Category Rules (PCRs) for lemon-based products, indicating that the choice of allocation can influence the environmental profile greatly. The role of transportation, especially international transport, is highlighted in terms of its share of the impact, which could be significant for exported products. Different allocation choices (mass vs. economic) can lead to significantly different environmental profiles for the same products, affecting decisions on environmental policy and business strategy. The findings are relevant for stakeholders in the citrus industry, including producers, policymakers, and researchers, as they provide insights into the environmental impacts of current production practices and potential benefits of adopting circular economy principles.				
032	An approach to regionalise the life cycle inventories of Spanish agriculture: Monitoring the environmental impacts of orange and tomato crops	Sinisterra-Solis, N.; Sanjuán, N.; Ribal, J.; Estruch, V.; Clemente, G.	The study's objective is to contribute to the development of Life Cycle Inventories (LCIs) for Spanish crops, particularly focusing on orange and tomato crops in Spain's main producing regions. This is achieved by assessing the average environmental impacts of these crops using a comprehensive approach that considers temporal variability and uncertainty of input data	Attributional analysis	The system boundaries of the LCA are set at the farm gate, including all relevant stages from the production of raw materials to the farm gate	Gate-to-Gate	1 kg of the tomato and orange	USEtox 2.12 for characterizing certain impact categories like human toxicity and ecotoxicity, and AWARE 1.2c and ReCiPe 2016 v1.1 for other categories	The International Reference Life Cycle Data System (ILCD) method	Climate change, fine particulate matter formation, fossil depletion, metal depletion, freshwater eutrophication, marine eutrophication, terrestrial acidification, photochemical ozone formation for ecosystems and human health, stratospheric ozone depletion, land use, and ionising radiation	GaBi Professional v10	Estimation of activity data for the life cycle inventory	The main results of the study on the environmental impacts of orange and tomato production in Spain revealed significant regional variations in environmental scores. For orange crops, the highest environmental impacts were found in the Comunidad Valenciana region, with values for climate change (CC), human toxicity non-cancer (HTnc), CTUh, and freshwater ecotoxicity (ET) at CTUe. In contrast, Andalucía showed the highest water scarcity (WS) impact. For greenhouse tomatoes, again, the Comunidad Valenciana region exhibited the highest environmental scores in all four categories studied: CC, HTnc, ET, and WS. The study confirmed the usefulness of the approach in providing a representative description of the environmental profile of crops using official statistical data and other information sources. The authors noted that expanding the data gathered in ECREA-FADN and from other data sources would enhance the quality of environmental impact estimations	-	Spain	Science of the Total Environment	Environmental
034	Life cycle assessment of orange peel waste management	Negro, V.; Ruggeri, B.; Fino, D.; Tonini, D.	The goal of this study was to quantify the environmental impacts and economic costs associated with various orange peel waste management strategies. Based on these findings, the study aims to offer recommendations to local authorities and decision-makers on the optimal management of this biomass waste	Consequential life cycle assessment	In accordance with standard practices in consequential Life Cycle Assessment (LCA), it is assumed that the energy carriers and products created through the management of Orange Peel Waste (OPW) will replace those generated by conventional market technologies. This means the system boundary is expanded to include the benefits of not producing and supplying these conventional products. In consequential LCA, these are identified as "marginal technologies/products," meaning they can	Gate-to-grave	The management of 1 t of OPW (wet weight)	The inventory data was compiled using the Authors' previously published experimental studies, their unpublished experimental data, the Ecoinvent database, various estimations, literature, and personal communications with experts in the field	Not specified	Global warming, acidification, marine nitrogen-eutrophication, toxicity to humans, toxicity to ecosystems and abiotic resource depletion	Not mentioned	Sensitivity analysis	Anaerobic digestion scenarios showed considerable environmental benefits in terms of global warming potential and resource depletion. Biogas upgrading to biomethane for use in the transport sector was particularly beneficial; thermal treatments, incineration and pyrolysis were less favorable due to the high moisture content of orange peel waste and high operational costs; co-digestion scenarios these scenarios, involving the treatment of orange peel waste with animal manure and seaweed, demonstrated significant environmental benefits; animal feeding using orange peel waste as animal feed was environmentally sustainable but faced practical and economic challenges.	Eutrophication impact, all anaerobic digestion strategies resulted in eutrophication impacts due to nitrogen leaching from the application of residual organic digestate; economic considerations preliminary cost analysis indicated that anaerobic digestion scenarios were economically preferable, with specific challenges	Italy	Resources, Conservation and Recycling	Environmental

adapt to demand changes. For the Italian market, these include a natural gas power plant for electricity generation and gasoline for transport fuel. The nutrients N, P, and K applied with digestate (leftover organic material from anaerobic digestion) and compost are presumed to replace calcium ammonium nitrate, diammonium phosphate, and potassium chloride, respectively, in line with the NPK content of the digestate and compost. This aligns with standard practices in consequential LCA studies. D-limonene extracted is assumed to replace hexane production and use, on a double mass basis. Heat production is supposed to cover internal consumption at the plant, considering that district heating networks are unavailable in the investigated region. When using OPW for feed, it's assumed to displace conventional energy and protein feeds, based on OPW's energy and protein content (calculated as total crude proteins). Maize is taken as the marginal energy feed, and soymeal as the protein feed, following prior studies. Replacing soymeal also affects soy oil production, a co-product, necessitating the induced production of palm oil to offset the displaced soy oil, adhering to the "soybean meal loop". Consistent with the system expansion approach in consequential LCA, a conventional feed should be replaced based on the energy and proteins actually available in the managed OPW. When animal manure and seaweed were used as co-substrates for anaerobic co-digestion, the system boundary expanded to include the avoided management of these

identified for the animal feeding option; sensitivity analysis highlighted the need for better inventory data, especially for pyrolysis Technologies

					substrates: conventional storage and on-land use for manure, and natural on-shore decay for seaweed												
038	Orange waste peel to high value soluble dietary fiber concentrate: comparison of conversion methods and their environmental impact	Negro, V.; Ruggeri, B.; Fino, D.; Tonini, D., V.V.; Tajane, S.P.; Mandavgane, S.A.	The objective of this research was to identify different environmental impact indicators during the modification of Soluble Dietary Fiber (SDF) in the ultrasonication and extrusion processes at a laboratory scale	Consequential life cycle assessment	Modification of Soluble Dietary Fibers in ultrasonication and extrusion processes at a laboratory scale	Gate-to-gate	0.1 kg input of fresh orange peels	While the Indian dataset was the preferred choice for modeling, due to insufficient data availability, other datasets were utilized. Specifically, Indian, global, and German datasets were used for electricity, process water, and ethanol, respectively	-	Global warming potential (GWP); acidification potential (AP); eutrophication potential (EP); and photochemical ozone creation potential (POCP)	GaBi profession al software	Sensitivity analysis	The analysis revealed that extrusion significantly affects the concentration of dietary fibers, especially SDF. Unprocessed orange peel had about 4.7% SDF, which increased to 24.28% with extrusion. The LCA impact indicators for extrusion and ultrasonication methods on a lab scale were analyzed. These included Acidification Potential, Global Warming Potential, Eutrophication Potential, and Photochemical Ozone Creation Potential. It was found that ultrasonication has environmental impacts approximately 2.6 times greater than extrusion, indicating that extrusion is a more sustainable or "green" method compared to ultrasonication	Electricity plays a crucial role in the environmental impact of the processes. If electricity is generated using solar energy or biomass, the environmental impact may be reduced. The study suggests that considering technical, economic, and environmental factors, extrusion is the most optimized method for Soluble Dietary Fibers conversion.	India	Biomass Conversion and Biorefinery	Environmental
040	Environmental assessment of organic juice imported to Denmark: A case study on oranges (Citrus sinensis) from Brazil	Knudsen, M.T.; Fonseca de Almeida, G.; Langer, V.; Santiago de Abreu, L.; Halberg, N.	The objectives were to (1) identify the environmental hotspots in the product chain of organic orange juice originating from small-scale farms in Brazil and imported to Denmark and (2) to compare the environmental impacts at the farm gate of the organic orange production with a comparable conventional and a large-scale organic orange production in the same region in São Paulo, Brazil.	Consequential life cycle assessment	The key stages included (1) production of agricultural inputs, (2) the farm stage, (3) the processing stage, which involved the production of frozen concentrated orange juice in Brazil and its reconstitution and packaging in Germany, and (4) an overall transport stage, encompassing all transportation steps within and between each stage, as well as the import to Denmark	Cradle to gate	For the environmental hotspot analysis of organic orange juice, the functional unit adopted was 'one litre of organic orange juice imported to Denmark'. In the comparison between organic and conventional orange production, the functional unit was 'one tonne of oranges leaving the farm gate'.	Ecoinvent Database v2.0; Country-specific data were not available, so European data were used	-	Global warming, eutrophication and acidification; land use; non-renewable energy	SimaPro 7.1.8	Sensitivity analysis	Surplus in the field balance could be partly explained by emissions such as nitrous oxide, ammonia, and nitrate loss. Approximately 50–100 kg N is unaccounted for, likely accumulated in tree trunks, stems, and soil; the carbon in trunks and stems should be subtracted from the carbon balance, but since some of the carbon accumulated will be released later when orange trunks are used as renewable fuel for processing, this was not included. The organic small-scale orange plantations consistently had the lowest value for different environmental impact categories, except for land use, which was slightly higher. The pattern was similar for environmental impacts per hectare. The Global Warming Potential (GWP) and eutrophication potential per hectare of organic small-scale farms were not significantly lower than the conventional with a p-value between 0.05 and 0.10. The total non- renewable energy use of the organic orange juice was 6699 kJ/l, with the transport stage being the most significant contributor (57%), followed by processing (29%); the total GWP for organic orange juice made from Brazilian organic oranges from small- scale farmers was 424 g/l. The major contribution within the transport stage was truck transport in various segments. The total acidification and eutrophication potential of 1 l of orange juice imported to Denmark were 3 g SO ₂ -eq. and 9 g NO ₃ ⁻ -eq., respectively. The major contributions came from the transport stage and farm stage.	The study highlights the significant contribution of transport to the overall environmental impact of orange juice, emphasizing the need for efficient and eco-friendly transport solutions. The results underscore the importance of considering the entire supply chain in evaluating the environmental impacts of food Products	Brazil	Organic Agriculture	Environmental
047	On the relevance of site specificity and temporal variability in agricultural	Cabot, M.I.; Lado, J.; Bautista, I.; Ribal, J.; Sanjuán, N.	This research focuses on conducting an environmental assessment of mandarin	Consequential life cycle assessment	The production, transportation, and application of inputs (fertilizers and pesticides), the use of machinery, which	Cradle to gate	A mass functional unit 1-tonne mandarin; and, an area functional unit	Ecoinvent 3.8.; GaBi database v.10; Information on the farming practices, yields, the type and dose	-	Eutrophication (MEu), freshwater eutrophication (FEu), terrestrial acidification (TAc), and freshwater	GaBi software v10	Comparativ e environmen tal life cycle assessment	The major critical points identified are emissions in the field, machinery operations, pesticides, and the production of fertilizers. Irrigation is the critical point in terms of blue water scarcity. Significant differences in	The study emphasizes the importance of developing location-specific inventories and	Uruguay	International Journal of Life Cycle Assessment	Environmental

LCA: a case study on mandarin in North Uruguay	production in Uruguay and pinpointing the key environmental issues in the farming stage, taking into account the temporal and spatial aspects of Life Cycle Assessments (LCAs) for perennial crops. Specifically, it examines six harvesting seasons, each with distinct farm management approaches	involves the production and combustion of diesel, as well as the irrigation, which implies the production of electricity for water pumping	1 ha has also been considered	of inputs applied, their origin, the amount of water for irrigation, and fuel for machinery is primary data obtained from direct interviews with the agronomist responsible for the orchard; the amounts of irrigated water and the irrigation hours are primary data from the orchard; for the estimation of NH ₃ and direct N ₂ O emissions to air, and NO ₃ – leached to groundwater, the LEACHN model, the N module of the LEACHM model (Hutson and Wagenet 1992), was used; PestLCI Consensus V.1.0 (Fankke et al. 2017) was used to calculate primary emissions from pesticide application; Briefly, the guidelines proposed in the Environmental Product Declarations—“EPD” (EPD 2019), the Product Environmental Footprint—“PEF” (EC 2018), and the World Food LCA Database—“WFLDB” (Nemecek et al. 2019), which combine Tier 1 and Tier 2 methods, have been used. Furthermore, an additional combination of Tier 1 and Tier 2 methods using the most up-to-date coefficients of the IPCC (2019) and the EEA (2019), named the “updated method,” has also been assessed. A statistical analysis was	acidification (FWAc)	marine eutrophication were observed between the LEACHN and WFLDB models, regardless of the functional unit. Significant reductions in results were observed when regionalizing environmental impacts caused by field emissions. Intertemporal variability is a significant factor, with substantial variations observed over different seasons.	impact assessment methods with spatial resolution, though more research is needed for general conclusions on the suitability of mechanistic models to estimate nitrogen emissions in Uruguayan citrus cultivation. The high variation in the coefficients obtained reaffirms the importance of considering temporal variability. The relevance of considering different functional units is highlighted, as different influencing variables are observed over the seasons, depending on the functional unit used.

								carried out using R software (R Core Team 2022) to assess whether there are significant differences between the results of the N on-field emissions (N2O, NH3, NO3 -, and NOx) estimated with the above-described methods and also between the scores of five impact categories influenced by N on-field emissions (CC, MEu, TEu, AqAc, and TAc). All agricultural inputs were transported by truck or ship and truck where the distances shown were retrieved from Searates									
048	Technoeconomic and life cycle analysis of soluble dietary fiber concentrate production from waste orange peels	Khanpit, V.V.; Tajane, S.P.; Mandavgane, S.A.	The main objective of this research is to evaluate the environmental impact of various pilot-scale methods for concentrating soluble dietary fibers, including micronization (MC), autoclave (AC), autoclave followed by micronization (AM), extrusion (EX), and ultrasonication (US). Additionally, the study aims to ascertain the environmental effects of different renewable energy sources used in the processes of concentrating soluble dietary fibers	Consequential life cycle assessment	The limitations of the study on the evaluation and comparison of five types of Soluble Dietary Fiber Concentration production techniques include: The emissions associated with the cultivation of oranges are not included in the analysis; due to data unavailability, emissions resulting from the peeling of oranges are not accounted for; the study considers the orange peels used as waste with minimal value; the impact of the farming stage is excluded under the assumption that waste orange peels are a byproduct; the study assumes negligible solid loss in the subsequent processing steps; emissions from transporting raw materials to the Soluble Dietary Fiber Concentration production plant, located near a waste-producing site, are not considered; the study assumes negligible solid loss in the subsequent processing steps; emissions from transporting raw materials to the Soluble Dietary Fiber Concentration	Gate to gate	40 kg of soluble dietary fiber concentrate	Inventory data for Soluble Dietary Fiber Concentration production methods were obtained from a lab-scale model from previous work, which has been upscaled to pilot size with minor modifications. The data on electricity consumption was derived from standard pilot scale equipment, as per the information available from India Mart; SuperPro database; GaBi database	-	Acidification potential (AP), global warming potential (GWP), eutrophication potential (EP), human toxicity potential (HTP), ozone layer depletion potential (ODP), and photochemical ozone creation potential (POCP)	GaBi educational software; SuperPro Designer software	Sensitivity analysis	The study assessed the environmental impact of soluble dietary fiber concentrate production from waste orange peels using various methods, the ultrasonication showed the highest environmental impact across most indicators, for example, global warming potential of ultrasonication was significantly higher compared to other methods; using renewable energy sources (solar, wind) drastically reduced the environmental impact, with wind energy being the most effective. The study conducted a detailed technoeconomic analysis for each production method; it assessed the total capital investment, operating cost, profitability, and sensitivity to batch size and energy sources; extrusion emerged as the most profitable method with the highest return on investment (43.77%) and internal rate of return (31.37%); ultrasonication was not economically feasible at a batch size of 40 kg due to high setup costs; renewable energy sources, particularly solar power, significantly reduced utility costs and improved the overall economics of the processes.	The study emphasized the importance of using waste materials (orange peels) for SDFC production, contributing to waste management and sustainability; highlighted the critical role of renewable energy sources in reducing environmental impact and improving the sustainability of the processes; scaling up from lab to pilot scale was a key aspect, with the study providing insights into the feasibility and environmental impact of upscaling; discussed the potential of microwave drying as an alternative to reduce environmental impact and improve efficiency; sensitivity analysis revealed that the profitability and environmental	India	Waste Management	Environmental and economic

					production plant, located near a waste-producing site, are not considered; the lack of inclusion of a wastewater treatment plant in the study, due to data limitations; the plant's location in central India and the use of the Indian grid mix for power imply a regional focus; although the study employs different grades of electricity (solar, biomass, wind) for sensitivity analysis, it might not capture the full range of potential environmental impacts associated with energy use in Soluble Dietary Fiber Concentration production									impact of processes varied significantly with batch size and the type of energy source used			
051	Transitioning the agri-food system. Does closeness mean sustainability? how production and shipping strategies impact socially and environmentally. Comparing Spain, South Africa and U.S. citrus fruit productions	Muñoz Torres, M.J.; Fernández-Izquierdo, M.A.; Ferrero-Ferrero, I.; Escrig-Olmedo, E.; Rivera-Lirio, J.M.	The article examine the environmental and social critical points of a citrus fruit product throughout its entire supply chain. Emphasis will be placed on the product's origin and its closeness to the market, an essential element in investigating its sustainability implications and, as a result, the significance of the citrus fruit supply chain's length in relation to its social and environmental impact. To conduct an analysis of the social and environmental impacts of the citrus fruit supply chain and to define the farm-to-fork (orchard-to-fork) fruit market strategy, we will undertake desk research. This will assess the social and environmental impacts throughout the product life cycle to fully explore the citrus fruit production hotspots from a cross-country perspective, using	Consequential life cycle assessment	In Scenario 1, we analyze the environmental and social impacts generated by a kilogram of fresh oranges consumed in Madrid, produced either in Valencia (Spain) or Limpopo (South Africa). The first alternative emphasizes proximity to the domestic market, while in the second, oranges are imported through the Port of Rotterdam - the common route for introducing South African citrus fruits into the European Union - and distributed in Madrid. Scenario 2 facilitates a comparison between an important European food market, Frankfurt (Germany), and two different product origins: the Spanish origin, which is categorized as domestic market type 2 due to both Germany and Spain being part of the European single market, and South African imports. In Scenario 3, the New York (USA) market provides an opportunity to examine large domestic markets and compare them with long-distance orange fruit supply chains, enabling a thorough evaluation of the various sources of impacts throughout the product life cycles.	Product Category Rulesorganize fruit life cycle in three subsystems, upstream or “from cradle to gate,” core-stream or “from gate to gate” and downstream, introducing the transportation phase to the end users and “end of life.”	1 kg of fresh grade oranges (Navelina)	Ecoinvent v3; EF Database 2.0; Agri-Footprint v3.0; SHDB v2.1 database; Data Quality Rating (DQR) provided by Ecoinvent	-	Climate change, ozone depletion, ionizing radiation, photochemical ozone formation, particulate matter, human toxicity-non-cancer effects, human toxicity-cancer effects, acidification, eutrophication- fresh water, eutrophication-marine, eutrophication-terrestrial, ecotoxicity-fresh water, land use, water use, resource use-fossils, and resource use-mineral and metals; labor rights (child labor, forced labor, excessive working time, wage assessment, poverty, migrant labor, collective bargaining, social benefits), health and safety (injuries and fatalities and toxics and hazards), human rights (indigenous rights, gender equity, high conflict), governance (legal system and corruption) and community (drinking-water, improved sanitation, hospital beds)	Simapro Release 9.1.0.8	Comparative environmental life cycle assessment	Agricultural techniques and orchard management are highlighted as significant factors in the sustainability of food production. The research particularly focuses on the impact of food supply chain length on the sector's social and environmental aspects. The results suggest mixed conclusions about the effectiveness of short food supply chains in achieving more sustainable food systems. The complexity of impact categories necessitates a thorough analysis of products at both the origin stage and the transport phase. Madrid Market: Valencia oranges are identified as the most sustainable option with the lowest environmental and social footprint. However, issues like 'Water use' and 'Migrant Labor' in the production of domestic products need careful management. Frankfurt Market: Valencia oranges show better social behavior than export products, but they do not have the lowest environmental footprint (Limpopo oranges score better). Thus, the sustainability advantage of shorter supply chains is only partially realized. New York Market: Oranges from California present more sustainable choices environmentally, with minor differences noted among the products analyzed. However, Valencia oranges achieve the best Social Life Cycle Assessment (SLCA) total score, indicating the need for detailed analysis of social and environmental performance.	The article acknowledges limitations in its methodology, such as simplifying business reality in defining scenarios and selecting products for simulation of domestic and export products. It suggests that future research should further explore these conclusions in different geographical areas and with other products, also integrating market actors' perceptions. The study emphasizes the need to consider transportation phases in calculating the social and environmental footprint of products, both in internal company management and in the design of public policies. It highlights the importance of including social and environmental critical points throughout the entire supply chain in international trade agreements.	United State of America; Spain; and South Africa	Agroecology and Sustainable Food Systems	Environmental and social

			environmental and social footprints for organizational impact assessment. Additionally, we aim to gain a clearer understanding of how different managerial strategies, such as selling or purchasing decisions, can influence social and environmental sustainability impacts. Our focus will be on the orange case study														
053	Environmental performance of orange citrus waste as raw material for pectin and essential oil production	da Costa, J.S.; Maranduba, H.L.; de Sousa Castro, S.; de Almeida Neto, J.A.; Rodrigues, L.B.	Identify the environmental indicators associated with the extraction of essential oil and pectin from orange peel, aiming to enhance their environmental performance	Attributional life cycle assessment	This study includes everything from the raw material orange to the stages of obtaining essential oil and pectin. The study particularly focused on the operational unit of hydrolysis for pectin extraction, considering the consumption of electricity, hydrochloric acid, and water.	Cradle-to-gate	1 kg of pectin	Ecoinvent database v.3.	-	Climate Change, Ozone Depletion, Particulate Matter Formation, Terrestrial Acidification, Freshwater Eutrophication, Land Use, Fossil Resource Scarcity and Water Consumption	SimaPro version 8.5.2.0	Sensitivity analyses	The production of pectin was identified as the main critical point, primarily due to high water and energy consumption per kilogram. The packaging and storage process contributed 53% to 94% in seven of the evaluated environmental impact categories. In the Land Use category, the cold extraction process accounted for 67% of the impact, with agricultural inputs like nitrogen fertilizers playing a significant role. The study also highlighted the importance of environmental management of the effluents generated in filtering during pectin production. Alternative scenarios were explored to improve environmental performance, including integrating process temperature and energy efficiency, and pH integration and acids used in extraction.	The study emphasized the need for effective management of the effluents generated, due to the high organic load and pH alteration by the chemical reagents used in pectin production. Alternatives to reduce water consumption in hydrolysis were proposed, such as using two tanks for the process. The analysis revealed that replacing the type of acid used in the process can have a significant impact on the environmental performance of pectin production.	Brazil	Food and Bioproducts Processing	Environmental
056	Production of soluble dietary fiber concentrate from waste orange peels: study of nutritional and physicochemical properties and life cycle assessment	Khanpit, V.V.; Tajane, S.P.; Mandavgane, S.A.	Identify different environmental impacts of Soluble Dietary Fiber Concentration production through micronization, autoclave, and autoclave followed by micronization methods on a laboratory scale	Consequential life cycle assessment	Laboratory scale is included to conduct tests with Soluble Dietary Fiber Concentration production through micronization, autoclave, and a hybrid method combining both	Gate-to-gate	0.1 kg of fresh orange peel	The Indian dataset was employed for electricity, while process water data was sourced from the global dataset	-	Global warming potential, eutrophication potential, acidification potential, photochemical ozone creation potential for soluble dietary fiber concentration methods including micronization, autoclave, and hybrid (CML 2001 impact assessment adapted)	GaBi V10.5	Sensitivity analyses	Micronization reduced particle size from 1 mm to 72.35 µm, increasing the Soluble Dietary Fiber content from 4.71% to 10.16%, while Insoluble Dietary Fiber decreased from 53.59% to 46.91%. Autoclave treatment enhanced Soluble Dietary Fiber concentration from 4.71% to 25.44%, with a decrease in IDF content from 53.59% to 32.84%. The hybrid method increased SDF from 4.71% to 23.69%, while Insoluble Dietary Fiber decreased from 53.59% to 33.25%. The environmental impact was assessed using various midpoint indicators, including Global Warming Potential, Eutrophication Potential, Acidification Potential, and Photochemical Ozone Creation Potential. The hybrid method showed a higher Global Warming Potential due to a greater number of unit operations, with its GWP being 3.52 kg of CO2	Scanning Electron Microscopy (SEM) showed microstructural and surface property changes after micronization, autoclave, and hybrid treatments, including a reduction in particle size, smoother surface structure, and more porous dietary fiber in SDFC-M. In contrast, the SDFC-A and SDFC-H samples	India	Biomass Conversion and Biorefinery	Environmental

													equivalent, more than micronization (1.54 kg CO2 eq.) and autoclave (3.42 kg CO2 eq.)	exhibited a spikier and tightly arranged fibrous surface. X-ray Diffraction (XRD) revealed no significant change in peak location, indicating that the crystalline type was not altered by the treatments. However, the crystallinity index varied across the methods, with autoclave and hybrid methods unable to completely disrupt the crystalline structure of SDFC. Water Retention Capacity (WRC), Oil Retention Capacity (ORC), and Swelling Capacity (SC) were crucial physicochemical characteristics of DF that were influenced by treatment methods. Micronization improved WRC and SC, while autoclave and hybrid treatments showed opposite effects, reducing these characteristics			
058	Assessment of the Environmental and Economic Performance of Heat Generation from Orange Peels and Sugarcane Straw	Navarro-Pineda, F.S.; Equihua-Sánchez, M.; Grande-Acosta, G.K.; Sacramento Rivero, J.C.; Islas-Samperio, J.M.; Bonales Revuelta, J.; Musule, R.; García, C.A.; Manzini, F.	Estimate the potential environmental impact factors, energy consumption, and water consumption of heat generation from orange peels and sugarcane straw in a citrus facility in Veracruz, Mexico	Attributional life cycle assessment	The system boundaries included the production of oranges and sugarcane straw, their transportation to the processing plant, physical separations of orange pulp and peels, combustion of peels and straw for heat generation, and proper treatment of wastewater and ashes derived from the industrial stage. The first two stages refer to the production of oranges (plantation, cultivation, and harvesting) and sugarcane straw (collection in the field) and their subsequent transportation to the processing plant. The industrial stage includes the physical separations of orange pulp and peels, as well	Cradle-to-grave	1 kWh of heat available to be used within the fruit processing factory	Assessment of the Environmental Performance: Agronomic stage of orange production is obtained from local farms in Veracruz, which may work under two production systems: (1) conventional and (2) organic; and, ecoinvent v3.03 database; transportation stage was taken from primary sources; industrial stage of processsing orange about the potential environmental impacts, energy consumption, and water	-	Assessment of the Environmental Performance: environmental Impact Assessment: global-warming potential (GWP), human toxicity potential (HTP), and photochemical oxidation potential (POP), acidification potential (AP), eutrophication potential (EP), terrestrial ecotoxicity potential (TEP), abiotic depletion potential (ADP), ozone layer depletion potential (ODP), freshwater aquatic ecotoxicity potential (FWAEP), and marine aquatic ecotoxicity potential (MAEP). Energy consumption: (1) non-renewable,	Simapro software version Ph.D. 9.1.1.1; Excel spreadsheets	Sensitivity analyses	The life-cycle inventory for biomass-based heat generation under base and second scenarios estimated potential heat generation at 25,932 MWhth/a (5.57 MW) and 29,202 MWhth/a (5.65 MW), respectively. Operational hours of furnaces and the boiler increased by 11% under the second scenario. The heat generation efficiency was about 25%, which is considerably lower compared to heavy-fuel oil-based heat generation efficiency due to the extensive drying of biomass required prior to combustion	The study assessed the variability in environmental impacts due to potential shifts in agricultural practices, such as increased adoption of organic farming methods for orange cultivation. This was done by analyzing extreme cases where all oranges come from either conventional or organic cultivation systems	Mexico	Bioenergy Research	Environmental and economic

					as the combustion of the latter along with sugarcane straw for generating the required heat for the orange juice production process. The wastewater and ashes derived from the industrial stage are then properly treated			consumption associated to the inputs required by the industrial stage were taken from ecoinvent v3.03; waste management the inputs required by the wastewater treatment plant were taken from primary sources, while all other inventory data was obtained from ecoinvent v3.03. Water consumption: these data were obtained from the ecoinvent v3.03 database. Assessment of the Economic Performance: Operational Expenditures (OPEX): most of the required data were taken from primary sources; Mexican Energy Regulatory Commission; Capital Expenditures (CAPEX): the data was provided directly from the fruit company		fossil; (2) non-renewable, biomass; (3) nonrenewable, nuclear; (4) renewable, biomass; (5) renewable, wind, solar, and geothermal; and (6) renewable, water. Assessment of the Economic Performance: Estimation of Operational Expenditures (OPEX): (1) labor, (2) HFO, (3) straw recollection, (4) waste management, and (5) other inputs;							
059	Energy life-cycle assessment and economic analysis of sweet orange production in Nigeria	Ogunlade, C.A.; Jekayinfa, S.O.; Olaniran, J.A.; Adebayo, A.O.	The purpose of this study was to ascertain the total input-output energy utilized in the production of sweet oranges at a collection of citrus research farms in Nigeria. It sought to examine the allocation of various energies during management practices, assess the efficiency of input energy consumption, and conduct an economic analysis of citrus production in Nigeria.	Attributional life cycle assessment	In the study, the quantity of inputs utilized in citrus production was determined to enable the calculation of energy equivalents. Energy inputs comprised human labor, machinery, diesel fuel, chemical fertilizers, pesticides, and seed amounts, while the output yield was quantified as the grain of citrus.	Gate-to-gate	1 ha of cultivated sweet orange area	Primary data and literature data	-	Direct and indirect, renewable and non-renewable forms; the direct energy included human labor, diesel, electricity; Indirect included seeds, fertilizers, manure, chemicals, machinery; Renewable included human labor, seeds, manure and non-renewable energy included diesel, chemical, fertilizers, machinery.	Not mentioned	Not mentioned	The study details the energy equivalent for different inputs and outputs in citrus production. It focuses on the energy requirements for various farming operations and machinery used in citrus production. The energy input includes human labor, machinery, diesel fuel, chemical fertilizer, pesticides, and seeds, while the output yield is the grain of citrus. The study explores the energy use efficiency, specific energy, energy productivity, and net energy in citrus production. Energy ratios, productivity rates, and specific energy consumption are analyzed and compared with other studies.	The study includes an economic analysis, focusing on net farm income, benefit-cost ratio, and gross margin analysis. It evaluates the profitability of citrus production and the efficiency of energy use in the context of economic returns. The energy consumption patterns and economic viability of sweet orange production in Nigeria. It highlights the balance between direct and indirect, as well as renewable and non-renewable energy sources used in citrus production. The conclusion suggests a	Nigeria	Agricultural Engineering International: CIGR Journal	Environmental and economic

													methodological shift towards renewable energy sources to improve energy use patterns.			
061	Environmental footprint of organic and conventional grapefruit production irrigated with desalinated seawater in Spain	Ben Abdallah, S.; Gallego-Elvira, B.; Imbernón-Mulero, A.; Martínez-Alvarez, V.; Maestre-Valero, J.	Measure the environmental impacts associated with organic and conventional grapefruit production, which utilized desalinated seawater with on-farm deboronation for irrigation in southeastern Spain. Furthermore, a specific objective was to evaluate and compare the environmental efficacy of two on-farm Boron Removal Technologies, namely Reverse Osmosis and Ion Exchange	Attributional life cycle assessment	On-farm boron reduction: (i) all materials used for the infrastructure, such as steel, plastic, resins and zeolite, as well as their manufacturing, transport, and waste management. Both technologies had the same structure except for the following elements: the ionic exchange filter and resins in the IX technology, and specific tubing, membranes and system of sweeping and cleaning in the RO technology; (ii) the energy consumed in the boron reduction process; (iii) the chemical reagents; (iv) the raw water consumed; and (v) the rejected water (brine) for the RO technology, with the corresponding emissions. Irrigation: (i) materials, transport, and manufacturing of equipment (irrigation heads, solenoid valves, tanks, schedulers, filters, polyethylene, and polyvinylchloride pipes), with their associated emissions; (ii) the reservoir and the deployment of the shed for the irrigation head; (iii) water and energy consumed for irrigation and associated emissions (fuel consumption and production and transmission of electricity, including grid leakage). The amount of electricity consumed for irrigation included seawater pumping, RO desalination, and network distribution (Fig. 2). It should be noted that electricity consumption has been reported to be the main impact source of RO desalination. Fertilizers: the production of nitrogen (N), phosphate (P2O5) and potassium (K2O) fertilizers required for each cropping phase, and their packaging and transport to the	Cradle-to-farm-gate	1 ha of cultivated grapefruit area; 1 t of grapefruit; and, 1 m3 of deboronated desalinated seawater for irrigation.	The majority of the Life Cycle Inventory (LCI) data, especially for the foreground processes, were derived from primary data obtained from farmers, experimental plots, and field surveys, as well as trials previously conducted and published by the authors. Additionally, data were sourced from existing literature and theecoinvent version 3.9.1 database; compiled from experimental trials, the manufacturer, and the literature	-	Carbon footprint; freshwater ecotoxicity; freshwater eutrophication; terrestrial acidification; stratospheric ozone depletion; and ozone formation, terrestrial ecosystems	OpenLCA v.1.11.0 software	Sensitivity analyses; and hotspots analyses	The results per ton of Functional Unit indicated a lower environmental footprint for the organic system, though the differences compared to the conventional system were smaller. The reduction in impact varied from 0.2% for Organic Farming Techniques to 30.6% for Soil Organic Debris, averaging a 9% decrease across all categories. This smaller disparity is attributed to the direct relationship of environmental impacts per ton to productivity, which was 10% lower in the organic system, despite using the same cultivar and planting density as the conventional system. In all impact categories analyzed, the stages with the highest contributions were irrigation and fertilizers, along with boron reduction in systems using Reverse Osmosis. The irrigation stage was the primary contributor to most categories, accounting for up to 86% for Fresh Water Ecotoxicity and 79% for Organic Farming Techniques in the Organic system. This was largely due to significant electricity consumption for the production and distribution of desalinated seawater, about 4.5 kWh per cubic meter. The use of Reverse Osmosis for boron reduction also had considerable impacts in the Conventional with Reverse Osmosis (CGRO) and Organic with Reverse Osmosis (OGRO) systems, especially in the Fresh Water Eutrophication category, with up to 56% contribution in the OGRO system, primarily because of the high electricity requirements of the Reverse Osmosis process. The organic grapefruit system demonstrated better environmental performance compared to the conventional system across all impact categories and both land and mass Functional Units. It's generally agreed that organic systems perform better per land Functional Units due to restricted use of polluting inputs. However, results per mass Functional Units could differ, as productivity varies with planting density, cultivar, input amounts, and chemical types used. This variation in productivity is influenced by specific characteristics of the cropping system. Other Boron Reduction Technology like electrodeionization could eliminate the need for chemicals, but haven't been used industrially yet. Using renewable energy for Desalinated Seawater (DSW) production can reduce irrigation's environmental impact. This is true for Reverse Osmosis (RO) Boron Reduction Technology, which is energy-intensive. Studies show that using various energy sources, including renewables, for Reverse Osmosis desalination can significantly reduce environmental impacts, with wind energy being the most effective. Despite the potential of renewables to	Spain	Sustainable Production and Consumption	Environmental

					field, with their associated emissions. The following emissions were accounted for in the field application of fertilizers: (i) emissions to air of nitrous oxides (N2O), ammonia (NH3) and nitrogen oxides (NOx) and emissions to water of nitrates (NO3-) for N-fertilizers and (ii) emissions to water of phosphates (PO4 3-) for P2O5 fertilizers. In both grapefruit systems (organic and conventional) the fertilizers were applied by fertigation. Plant Protection Products: This stage consisted in the manufacture and synthesis of the chemical and organic components of the PPPs used, their transport to the farm and the disposal of waste at the end of their use. The PPPs used in the organic system were: spinosad, bacillus thuringiensis, orange oil, azadirachtin, potassium soap and paraffin oil. Machinery: the manufacture, transport, use, repair, and maintenance of the agricultural machinery needed for field agricultural practices (soil management, pesticide and herbicide application and treatment of pruning residues), as well as the corresponding fuel consumption and associated air emissions										replace fossil fuels by 2050, challenges remain in cost and distribution			
062	Extended community of peers and robustness of social LCA	Macombe, C.; Loeillet, D.; Gillet, C.	It starts with an exploration of the inherent weaknesses of Social LCA. This involves a critical analysis of the case studies to pinpoint where the methodology might be lacking or insufficient. he next part discusses potential strategies to counter these weaknesses. One proposed solution is inspired by the Conventions	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	-	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	Not mentioned	it is highlighted that authors of environmental Social Life Cycle Assessment (S-LCA) have identified the same weaknesses in their own works as Roy had identified for other decision-making tools. These weaknesses are also present in the "Guidelines for SLCA of Products" (UNEP-SETAC 2009). To combat these weaknesses, building an extended community of peers might be a solution, albeit a conditional one. In the two case studies where a real community of peers was formed, the initial convention changed, and many weaknesses were mitigated, unlike the other two cases where no community of peers was mobilized. Particularly, a relevant and plausible impact assessment was provided in the former two cases, while this was impossible in the latter two. The community of peers	The study states that the creation of a community of peers does not guarantee problem resolution. Consultants and researchers bear a particular responsibility in deciphering power plays and unfounded beliefs. Introducing the extended community of peers into the LCA landscape goes against the quest for	France	International Journal of Life Cycle Assessment	Social	

			Theory, which posits that people can adopt conventions (agreements within a group) to determine fairness in various situations. This approach includes forming a new group, termed an "extended community of peers," responsible for establishing new conventions tailored to each situation. The final discussion point considers whether it is necessary to engage this extended community of peers to mitigate the weaknesses of Social LCA. This section evaluates the effectiveness of this approach and its viability as a solution to enhance the method's robustness.										seems to function through the comparison of a variety of viewpoints. However, peer involvement is not the ultimate weapon against the weaknesses of social LCA. These difficulties underscore the importance of the role of consultants/researchers conducting the study. They are responsible for distinguishing between situations that will lead to failure and those that are manageable, generating the evaluative question, providing facts, and negotiating	standardization, but specifying which convention was chosen does not impair the method's generality. On the contrary, the researcher's critique of their own methods is an integral part of the scientific approach			
063	Energy-water nexus strategies for the energetic valorization of orange peels based on techno-economic and environmental impact assessment	Martinez-Hernandez, E.; Magdaleno Molina, M.; Melgarejo Flores, L.A.; Palmerin Ruiz, M.E.; Zermelo EguaLis, J.A.; Rosas Molina, A.; Aburto, J.; Amezcua-Allieri, M.A.	The utilization of orange peels specifically for fulfilling steam needs in concentrated juice production has not yet been examined from both economic and environmental sustainability perspectives. Moreover, given the concerns about conserving water and energy in a world with limited resources, a rapidly growing population, and increasing demands, it becomes essential to explore strategies that address the water-energy nexus in the use of biomass for bioenergy and biorefinery processes. Consequently, this paper presents the first	Attributional life cycle assessment	Farming and transportation, industrial processing and end use of fuel. The farming stage includes the production of orange fruits in the field, fertilizer and pesticides used in the state of Veracruz, Mexico, and no field residues are considered. The orange transportation to the citrus processing plant is carried out in 15-ton Euro 2 lorries for an average distance of 100 km with a diesel fuel efficiency of 2.5 km/L. In the industrial processing stage, the oranges are processed into concentrated orange juice, d-limonene and essential oils as the main Products	Cradle-to-grave	1 MJ of energy in the form of steam	Data were sourced from existing literature	-	Global warming (GWP), human toxicity (HTP), photochemical ozone creation (AP), eutrophication (EP), and freshwater aquatic toxicity (FAETP) potentials	Not mentioned	Sensitivity analyses	Utilizing orange peels as biofuel for steam generation in a citrus processing facility is economically viable. It requires low biomass cost, efficient drying and combustion processes. The minimum processing capacity of orange peels for economic feasibility is 500 tons per day. Approximately 10.8 tons per hour of steam can be generated, covering about 65% of the steam requirements for the concentrated orange juice production process. Energy conversion efficiency (energy output/total energy input) is around 21%. Improvements in combustion efficiency can increase efficiency and replace more fossil fuels. Total annual cost of energy production: 1.2 million dollars per year. Cost of energy production: 11.91 dollars per GJ. Savings compared to steam generated from fuel oil: 2.46 dollars per GJ. Estimated initial investment: 5 million dollars. Payback period: 9 years.	The global warming potential (GWP) of the energy generated using orange peels is 94% lower than the reference value for fuel oil. Significant mitigations in other environmental categories, such as abiotic depletion, acidification, ozone depletion, human toxicity, and freshwater ecotoxicity. Potential negative impacts include higher freshwater aquatic toxicity, terrestrial ecotoxicity, photochemical ozone creation, and eutrophication potentials. Energy recovery from streams, optimizing the excess air ratio,	Mexico	Food and Bioproducts Processing	Environmental and economic

			techno-economic and environmental assessment of the energy valorization of orange peel waste for steam production in a citrus processing plant, aiming to propose strategies that integrate the energy-water nexus.											recovering water and value-added chemicals. Improving wastewater treatment and reducing water consumption. Results are based on a case study in Mexico; they may vary depending on the location and specific scenario of the processing plant. Improving energy and water efficiency at the plant, developing synergies that benefit the water-energy relationship.			
064	Environmental assessment of a waste-to-energy practice: The pyrolysis of agro-industrial biomass residues	Cusenza, M.A.; Longo, S.; Cellura, M.; Guarino, F.; Messineo, A.; Mistretta, M.; Volpe, M.	To evaluate the environmental impacts associated with biochar produced through slow pyrolysis of various biomass residues at three distinct temperatures, aiming to determine the most environmentally friendly production method; to pinpoint the critical areas in the examined production process; to offer an initial assessment of the potential environmental advantages derived from employing renewable energy technologies to generate electricity used in the pyrolysis process; to examine the effect of the transportation distance of biomass on the environmental impact; to explore how the methodological choices in allocating environmental burdens among the products of pyrolysis influence the overall results, particularly	Attributional life cycle assessment	The setup of the equipment, conveying biomass residues to the laboratory over a distance of 100 km, and the initial processing steps, which involve drying and grinding the biomass residues prior to their introduction into the pyrolysis reactor. The pyrolysis process itself, taking into account the consumption of energy and materials during its operational phase, along with the treatment of wastewater generated from the process. The transportation aspect not only covers the movement of materials but also encompasses the manufacturing and eventual disposal of the vehicle at the end of its life cycle. Regarding the construction phase of the reactor, the analysis focuses solely on the components specifically fabricated for conducting the pyrolysis experiments.	Cradle-to-gate	0.01 kg of biomass is treated	The inventory is created using both primary and secondary data sources. Specifically, primary data pertaining to the consumption of energy and materials, relevant to the primary process, are gathered directly during the laboratory phase. For modeling the secondary processes, such as the environmental profiles of materials and energy sources, data are obtained from the Ecoinvent 3.6 database	-	Energy Demand; Global Warming Potential; Ozone Depletion Potential; Human Toxicity - no cancer effect; Human Toxicity - cancer effect; Particulate Matter; Ionizing Radiation, human health; Ionizing Radiation, ecosystem; Photochemical Ozone Formation; Acidification; Terrestrial Eutrophication; Freshwater Eutrophication; Marine Eutrophication; Freshwater ecotoxicity; Mineral, fossil and renewable resource depletion	-	Sensitivity analysis; and, hot spot analysis	The type of biomass more significantly impacts the environmental outcomes of the pyrolysis process than the peak pyrolysis temperature. Biochar derived from orange peels shows lower environmental impacts, with an average difference of about 16% compared to biochar from olive tree trimmings, which has the worst environmental performance. For each biomass, the impacts associated with biochar produced at different operational temperatures generally have less than 5% variation. Electricity consumed during the operational phase is responsible for the largest impacts across all examined impact categories, followed by the transportation of bio-wastes. The contribution of electricity to the total impact ranges from a minimum of about 44% (for cumulative energy demand) to 91% (for terrestrial eutrophication), while transportation contributions range from a minimum of about 4% (for terrestrial and marine eutrophication) to 36% for the depletion of mineral, fossil, and renewable resources. Utilizing more energy-efficient processes and technologies and spreading distributed pyrolysis systems near farms can significantly enhance the environmental performance of the examined system.	-	Italy	Sustainable Production and Consumption	Environmental

			focusing on the last three aspects mentioned.														
066	Energetic and economic analyses for agricultural management models: The Calabria PGI clementine case study	Falcone, G.; Stillitano, T.; De Luca, A.L.; Di Vita, G.; Iofrida, N.; Strano, A.; Gulisano, G.; Pecorino, B.; D'Amico, M.	The objective was to evaluate the connections between agricultural methods, characteristics of the production area, energy requirements, and the financial outcomes of Protected Geographical Indication (PGI) clementine production scenarios in Calabria. Insights from this study could be instrumental in pinpointing approaches to refine processes with a focus on reducing reliance on non-renewable energy sources, while still maintaining the financial viability of the farms	Attributional life cycle assessment	The study focused on the full production phase of the farming plant, which is most representative in terms of practices, material inputs, and environmental impacts. Both background and foreground systems were analyzed	From farm gate to farm gate	1 ha year-1	References from the scientific literature; directly measured; ecoinvent 3.2	-	The non-renewable energy category includes fossil, nuclear, and primary forest biomass resources, while the renewable energy category includes biomass, water, wind, solar, and geothermal resources. Human labor was integrated into a subcategory, while the water used was allocated to the "renewable water" subcategory.	SimaPro 8.1 software	Sensitivity analyses	From an energy perspective, the organic (O) farming system showed better performance than either conventional (C) or integrated (I) farming systems. Organic farming scenarios required an average of 72,739 MJ, while C and I farming scenarios required 95,848 MJ and 94,060 MJ, respectively	Economically, organic farms were found to be more profitable in terms of the net profit indicator. This suggests that in addition to being more energy-efficient, organic farming systems might also offer greater financial profitability.	Italy	Energies	Economic
069	Sustainable management of peel waste in the small-scale orange juice industries: A Colombian case study	Ortiz, D.L.; Batuecas, E.; Orrego, C.E.; Rodriguez, L.J.; Camelin, E.; Fino, D.	The goal of this study was to determine the environmental performance of three different routes for valorizing the orange peel waste to compare them with the current situation in which orange peel waste is landfilled.	Attributional life cycle assessment	In Scenario I, waste is directly disposed of in landfills without undergoing any treatment, serving as the standard process for comparison. Scenario II shifts to a more sustainable approach by incinerating the organic waste (OPW) to generate energy, thereby reducing the dependency on coal. Scenario III takes a different route by producing biogas from the waste, which is then utilized as an energy source within the system. Finally, Scenario IV goes a step further by not only harnessing energy from the organic waste through anaerobic digestion (OPWAD) but also repurposing the resultant digestate as a fertilizer for orange plantations	Cradle to gate	1 liter of orange juice	Data from published experiments and simulations of mass and energy balances were utilized. Key inputs like steam, coal, ashes, and the production of orange peel waste were sourced from a case study company. The production of biogas was projected from scaling up laboratory data to an industrial scale. In every scenario, the allocation between orange peel waste and orange juice (OJ) was determined based on disposal costs (0.049 V/kg) and production costs within the context of the Colombian market (1.50 V/L, equivalent to 60% of the selling price).	-	Climate change (CC), ozone depletion (OD) particulate matter (PM), photochemical ozone formation (POF), acidification (AC), freshwater eutrophication (FEU) and water resource depletion (WRD)	Simapro 8.3 software and Ecoinvent 3	Uncertainty analysis and comparative life cycle assessment	A key insight from this study is that eschewing the use of landfills in orange juice industries leads to both economic and environmental advantages. Scenario I, which used coal incineration, resulted in the highest environmental impacts in 6 of the 7 assessed categories. Scenario II, incorporating the incineration of organic waste, achieved the lowest environmental impacts in five categories (climate change, ozone depletion, particulate matter, photochemical ozone formation, and freshwater eutrophication), indicating that avoiding landfills can improve overall process sustainability. Scenarios III and Scenario IV, which include anaerobic digestion, reduced carbon footprint and photochemical ozone formation by about 40% compared to scenario I, due to reduced coal use. In the freshwater eutrophication category, Scenario III and Scenario IV reduced their environmental impact by more than 160% compared to the baseline case (Scenario I). In water resource depletion, scenarios with biogas production (Scenario III and Scenario IV) showed worse environmental behavior than scenarios without waste management (Scenario I) or with minor waste management, as in the orange peel waste incineration (Scenario II).	Coal incineration (Scenario I) generated the highest environmental impacts in all assessed environmental impact categories. The incineration alternative (Scenario II) and anaerobic digestion scenarios showed significant benefits, mainly in coal substitution, biofuel production, avoiding orange peel waste landfill disposal, and fertilizer recirculation from digestate. Compared to previous studies, the results of this study showed significant reductions in greenhouse gas emissions and other environmental impacts when replacing fossil resources with	Colombia	Journal of Cleaner Production	Environmental

070	Prospective life cycle assessment of a based orange wax fungicide	Garcia-Cruz, A.; Diaz-Jiménez, L.; Ilyina, A.; Carlos-Hernández, S.	Determine the potential environmental impacts of the production of BOWW fungicide using a prospective study to identify opportunity areas for improvement in the scaling up of the process	Not mentioned	The fungicide is produced through two sequential phases: firstly, diluting OWW with BOWW fungicide 3, which results in the production of insoluble wax as a by-product. This by-product necessitates a management strategy, leading to the evaluation of two different scenarios: either disposing of it in a landfill or processing it through transesterification for biodiesel production.	Gate-to-grave	The production of 1 m3 of BOWW fungicide	ELCD v. 4.2; Cyrene and maltose were explored as substitutes for DMSO, previously used at the laboratory scale, for extraction purposes. The environmental impacts of these three solvents were assessed for comparative analysis. Information regarding the management scenarios and formulation stages was inferred from existing market processes. Specifically, the requirements for	-	Abiotic depletion; fossil fuel depletion; acidification; eutrophication; fresh water ecotoxicity; global warming; human toxicity; ozone layer depletion; terrestrial ecotoxicity	OpenLCA v.1.10.3	Comparative life cycle assessment	The life cycle assessment of the fungicide production process showed significant potential environmental impacts in resource depletion, global warming, and human toxicity. The impacts are primarily associated with the chemicals and energy used. The extraction stage of active components contributes more to the environmental impact than the formulation stage, representing about 53% of the total potential environmental impacts. This finding suggests that both stages offer opportunities for environmental improvement.	bioenergy alternatives. Differences in material characteristics, system boundaries, and geographical conditions can influence life cycle assessment outcomes. For instance, while other studies found composting produced the lowest environmental impacts, in this study, incineration (Scenario II) followed by biogas production (Scenario III) and fertilizer recovery via anaerobic digestion (Scenario IV) showed the lowest impacts. The study highlights the importance of using fruit waste in methane production through anaerobic digestion to improve the environmental behavior of production chains compared to their baseline scenarios.	Mexico	Industrial Crops and Products	Environmental

								transesterification were based on findings from an earlier study focused on a biodiesel production industry (Carlos Hernandez and Diaz Jimenez, 2018). Additionally, the electricity usage data were aligned with the energy mix specific to the state of Nuevo Leon, Mexico.					the study found that replacing Dimethyl sulfoxide with cyrene or maltose did not result in a clear enhancement of the process in terms of environmental impact. The primary waste in the fungicide production process is insoluble wax, constituting around 32% of the material. Two management scenarios were evaluated: landfill disposition and transesterification for biodiesel production. Landfill disposal emerged as the best option, contributing the least to abiotic depletion, fossil fuel depletion, and fresh water ecotoxicity, and even providing net environmental benefits. Conversely, the transesterification scenario, while an innovative approach to extend the value chain of orange waste wax, was deemed less favorable due to its larger environmental impact values.				
079	Process optimization, economic and environmental analysis of biodiesel production from food waste using a citrus fruit peel biochar catalyst	Rajendran, N.; Kang, D.; Han, J.; Gurunathan, B.	The objective of this study is to determine both the economic and environmental consequences associated with creating sustainable biodiesel from food waste (FW), utilizing a biochar catalyst	Consequential life cycle assessment	“well-to-wheel,” combining “well-to-pump” for FW-based biodiesel production and “pump-to-wheel” for ICEV operation steps	Well-to-wheel and well-to-pump	1.0 kg of biodiesel	Ecoinvent 3; GREET database	-	Global warming, terrestrial acidification (TA), fine particulate matter formation (FPMF), and fossil resource scarcity (FRS); total capital investment, operating costs total revenue, return on investment, payback period, internal rate of return, present value, and minimum selling price	SimaPro 9.0	Techno-economic analysis and sensitivity analyses	The optimized process yielded a biodiesel conversion rate of 96.3% under specific conditions: 1:10 oil to methanol molar ratio, 4 w% catalyst loading, a reaction temperature of 55 °C, and a reaction time of 52 minutes. The biochar catalyst remained effective for four cycles. The techno-economic analysis revealed that the annual plant revenue was \$24,140,000 for a project lifetime of 20 years. The payback time for the investment was calculated at 3.16 years, with an internal rate of return after tax of 39.92%, and a net present value at 10.0% interest of \$55,017,000. A minimum biodiesel selling price of \$0.46/kg was determined, and the environmental sustainability was assessed through a life cycle assessment, which showed a global warming potential impact of - 3.967 kg CO2 equivalent for the food waste-based biodiesel scenario. The study compared the environmental	The process was determined to be sustainable both economically and environmentally for producing biodiesel from food waste containing 30.1% oil using a low-cost biochar catalyst. The feedstock and byproducts played a significant role in developing an economically sustainable process. Despite the low impact on global warming, the process had	India	Journal of Cleaner Production	Environmental and economic

													impacts of the food waste-based biodiesel scenario against conventional petroleum-based diesel. The food waste-based biodiesel showed a better global warming impact but worse terrestrial acidification, fine particulate matter formation, and fossil resource scarcity impacts. The major contributors to the global warming impact included the displacement effect of conventional food waste treatment (dumping and landfilling) and steam production. The study highlighted that the energy requirements for solvent recycling significantly affected the environmental impacts, which offset the advantages of increased biodiesel yield	higher impacts in terrestrial acidification, fine particulate matter formation, and fossil resource scarcity compared to conventional petro-based scenarios. However, the advanced extraction process and the low solvent use in the biodiesel production process contributed to its economic feasibility and environmental friendliness			
080	Circular bioeconomy: Life cycle assessment of scaled-up cascading production from orange peel waste under current and future electricity mixes	Teigiserova, D.A.; Hamelin, L.; Tiruta-Barna, L.; Ahmadi, A.; Thomsen, M.	This LCA (Life Cycle Assessment) study aims to measure the environmental impacts associated with bioeconomy value chains based on orange peel waste (OPW)	Attributional and consequential life cycle assessment	The study evaluated several energy mixes, including: a) Denmark's current electricity mix; b) Denmark's future renewable energy mix; and c) a mix consisting entirely of wind power for electricity and biogas for heat production. Two baseline or business-as-usual scenarios for managing orange peel waste were considered: incineration and animal feed production. In total, the study assessed 10 main scenarios using Life Cycle Assessment (LCA). It also examined the impact of plant size on environmental performance. Besides the baseline capacity of 100 tons of orange peel waste per week, two extreme sizes were evaluated: a small-sized plant with a capacity of 0.5 tons of orange peel waste per week and a large plant capable of handling 1000 tons of orange peel waste per week, representative of one of the largest plants in the EU—a Spanish juice factory that processes up to 400 tons of OPW ex-juicing per day (Martín et al., 2018).	Gate-to-grave	1 t of OPW after juicing (wet weight) for a plant producing 100 t of OPW waste per week, 52 weeks y ⁻¹ (excluding public holidays), modeled according to data representative of the Danish orange juice plant Rynkeby	Combining literature information and process modeling; Ecoinvent v.3.6	-	Climate change, land use, acidification, eutrophication marine, eutrophication freshwater, and human toxicity	SimaPro 9.0	Environmental footprint life cycle impact assessment and Sensitivity analyses	The climate change impact category showed improvement (decreased impact) when transitioning from the current energy mix to a future renewable mix. Energy-related emissions, particularly from the solid-state fermentation process, were identified as the most influential factors. The main contributing background processes for the current electricity mix were hard coal and woodchips, with fossil carbon dioxide being the primary contributing substance. For the Bioref consequential dataset, a global wood process in the electricity mix was the major contributor. Avoided animal feed, which translates to avoided maize, soy, and palm oil production, was the process that most significantly reduced land use. The attributional inventories showed that the animal feed process in the biorefinery and in business-as-usual scenarios primarily avoided home composting used as fertilizer in maize production. This led to a substantial reduction in land use impact. The consequential dataset showed that maize grain production and forest intensive occupation were the largest avoided contributing background processes. The climate change impacts significantly depended on the choice of energy mix. While transitioning to renewable energy sources showed an overall reduction in climate change impacts, the specific source of energy (e.g., woodchips, coal, biogas) greatly influenced the extent of this reduction. The study highlighted the potential of using biorefinery processes to significantly reduce land use impacts through the substitution of animal feed production. This finding suggests an opportunity to optimize land use in the production process by considering alternative uses of byproducts.	The SSF process was noted as the most energy-intensive among the biorefinery processes, highlighting the need to focus on energy efficiency in this area. The choice of energy source for the solid-state fermentation process, whether it be woodchips or biogas, significantly influenced the overall environmental impacts of the biorefinery. The study also considered how the market's response to different energy generation strategies (like incineration and biogas production) could lead to avoided impacts, such as reduced forest occupation. This aspect emphasizes the broader environmental implications of energy choices beyond direct emissions.	Denmark	Science of the Total Environment	Environmental
081	Multiyear life energy and life cycle assessment of orange production in Iran	Alishah, A.; Motevali, A.; Tabatabaekoloor, R.; Hashemi, S.J.	The study goal was to assess the life cycle of orange production during its	Not mentioned	All entrances, and the required processes during the production cycle of orange in different years were taken into account	Cradle-to-farm-gate	1 kg of orange and 1-ha orange orchard	Indirect environmental pollutants from the consumption of inputs (fertilizers,	-	Abiotic depletion, fossil resource depletion, acidification, eutrophication, global warming,	SimaPro 8.1	Comparative life cycle assessment	It also examined emissions at different growth stages of the orchard. Notably, in the first year, the use of diesel fuel was higher than in the second year. This increased consumption was attributed to the land preparation	The study provides valuable insights into resource management and the associated	Iran	Environmental Science and Pollution Research	Environmental

			different growth years (from year 1 to year 7) in the northern Iranian province of Mazandaran					pesticides, fuel, etc.) were determined using the Ecolinvent database; Information on agricultural methods, including their fuel usage, chemical fertilizers and pesticides, transportation, and irrigation, was gathered through direct, in-person collection		ozone layer depletion, human toxicity, Fresh water aquatic toxicity, marine toxicity, soil toxicity, and photochemical oxidation			activities required during the initial planting phase. The study presented data on various environmental classification indicators, such as abiotic depletion, fossil resource depletion, acidification, eutrophication, global warming, and ozone layer depletion. These indicators are crucial for assessing the environmental impact of agricultural practices in the orange orchard. The detailed findings and numerical values related to these environmental indicators were presented in Tables 8 and 9 of the study .	environmental impacts of orange cultivation in Mazandaran. The change in resource usage and emissions over different years of orchard growth underscores the dynamic nature of agricultural environmental impacts. The detailed analysis of environmental indicators serves as a critical tool for identifying areas where sustainable practices can be implemented to reduce the overall environmental footprint of orange cultivation. The findings from this study highlight the complexities involved in managing agricultural inputs and understanding their environmental consequences, especially in a crop-specific context like orange orchards. The variation in resource use over time and the detailed analysis of environmental impacts are essential for developing more sustainable agricultural practices			
086	Life cycle toxicity assessment of pesticides used in integrated and organic production of oranges in the Comunidad Valenciana, Spain	Juraske, R.; Sanjuán, N.	The goal of this paper is to assess the relative toxicity impacts of pest-control methods on human health and freshwater aquatic ecosystems based on current LCIA tools	Not mentioned	Integrated pest management including several pesticide treatment scenarios and post-harvest treatment, and organic production	Gate-to-Gate	1 kg of oranges	Case study, data from literature, and FOOTPRINT pesticide properties database	-	Freshwater ecotoxicity; human toxicity	Not mentioned	Sensitivity analyses and mathematical modeling	On average, acaricides showed the highest human toxicity impact scores, while insecticides demonstrated the highest impact on freshwater ecotoxicity. The lowest impact scores in both categories were observed for herbicides. In producing 1 kg of orange fruits, post-harvest fungicides contributed to over 95% of the total human toxicity impacts, and more than 85% of aquatic ecotoxicity was generated by fungicides applied before the harvest. This indicates a significant potential for impact reduction in freshwater ecosystems (up to seven orders of magnitude) and human health (up to two orders of magnitude). The study found that 25 pesticides were recommended for integrated orange production, while only one active ingredient was predominantly used in organic production. The pesticides were categorized into four groups:	The study underscores the importance of careful pre-selection of active ingredients in pesticide formulation to minimize environmental and health impacts. It also highlights that organic production methods represent the least toxic approach for pest control in orange cultivation. The variability in pesticide	Spain	Chemosphere	Environmental

												acaricides, fungicides, herbicides, and insecticides. There was a large variability in the application dose patterns, ranging from $7.70 \times 10^4(-7)$ to $6.46 \times 10^4(-3)$ kg a.i. m ² (-2) for different pesticides. Human toxicity impact scores varied among the four types of pesticides studied. Acaricides generally had the highest impact score due to relatively high application doses per hectare. In contrast, herbicides had relatively low impact scores, attributed to their lower application doses and longer periods between application and orange consumption. The variability in impact scores suggests potential for optimization to reduce human health risks associated with pesticide use. Fungicides, particularly fosetyl-AI, demonstrated the highest potential for reducing human toxicity impacts.	application doses and the different impact scores among pesticide types indicate opportunities for improving pest management strategies to reduce their overall environmental and health impacts.				
088	Multi-season environmental life cycle assessment of lemons: A case study in south Uruguay	Cabot, M.I.; Lado, J.; Sanjuán, N.	The goal of this study is to carry out an environmental assessment of Uruguayan lemons production, to identify the environmental hotspots in the farming stage and propose improvements	Attributional life cycle assessment	The manufacture of fertilizers and pesticides, their transportation to the orchard, application on site, usage of machinery for various agricultural activities (inclusive of fuel production for these machines), and irrigation processes (considering the electricity generation needed for operating the irrigation pumps)	Cradle-to-farm gate	Two functional units were employed. The first, focused on product perspective and relevant to eco-labeling initiatives such as Environmental Product Declarations (EPD) and Product Environmental Footprint (PEF), is a mass-based functional units defined as 1 tonne of lemons per season. This choice aligns with the guidelines specified in the aforementioned Product Category Rules (PCR). Additionally, a land-based functional units, calculated as 1 hectare per season, was selected to assess land use intensity and to incorporate the aspect of ecosystem services provision	Ecoinvent 3.8. Database; GaBi v.10 database; and, USEtox 2.12 database	-	Climate change, acidification, freshwater eutrophication, marine eutrophication, terrestrial eutrophication, photochemical ozone formation (impacts on human health), ozone depletion, resource use of minerals and metals and resource use of fossil resources, the widespread use of pesticides; freshwater ecotoxicity (CTUe) and human toxicity carcinogenic and non-carcinogenic (CTUh)	GaBi software	Sensitivity analysis and hot spot analysis	On-field emissions and input production were found to be crucial for most assessed categories, contributing on average 84% to climate change (CC), 88% to acidification (Ac), 98% to marine eutrophication (MEu), and 85% to terrestrial eutrophication (TEu). Blue water consumption for irrigation was identified as the main hotspot in blue water scarcity, accounting for an average of 86%. There was notable inter-seasonal variability, particularly in blue water scarcity, due to the dependency of water consumption on agroclimatic conditions. On-field emissions from fertilizers were the dominant contributor to climate change, accounting for 55–56% of the total impact depending on the season, followed by fertilizer production at 13–14%. Marine eutrophication was primarily led by on-field emissions from fertilizers (97–98%), while freshwater eutrophication was predominantly influenced by the production of both pesticides (71%) and fertilizers (20%). In the case of terrestrial eutrophication, on-field emissions from fertilizers (specifically NH3 and NO2) and machinery operations were the most significant stages, contributing 75% and 11%, respectively. Fertilizer production was the main contributor to fossil use (57%), followed by machinery operations (23%)	Pesticide production accounted for 90% of total ecotoxicity (ET), 50% of human toxicity cancer (HTc), and 63% of human toxicity non-cancer (HTnc). Among pesticides, copper-based ones had the highest impact scores. Cuprous oxide, mancozeb, difenoconazole, and abamectin exhibited the highest values in ecotoxicity, while cuprous oxide, acetamiprid, pyraclostrobin, and abamectin had the highest scores in human toxicity. Fertilizer production contributed to 10% of total ET and 45–46% of HTc, while emissions from pesticide application contributed to 26% HTnc. Despite various origins, transportation of agricultural inputs did not constitute a hotspot for any impact category, as most distances were covered by ship, a more efficient mode of transport generating lower impacts than trucks	Uruguay	Journal of Environmental Management	Environmental

091	Sustainability evaluation of Sicily's lemon and orange production: An energy, economic and environmental analysis	Pergola, M.; D'Amico, M.; Celano, G.; Palese, A.M.; Scuderi, A.; Di Vita, G.; Pappalardo, G.; Inglese, P.	To assess the sustainability of organic farming practices relative to conventional methods. This was achieved by conducting an analysis of energy, environmental impacts, and production costs encompassing the entire production cycle of lemon and orange orchards, from the establishment of the orchard through to the end of the crop cycle.	Not mentioned	Orchard plantation (soil preparation, pre-plantation fertilization, tree plantation, irrigation system); soil tillage; fertilization; irrigation; weed and disease control; pruning; harvesting and orchard removal; and So it was from orchard plantation to orchard removal (50 years), excluding transportation of the product to its final destination and the pruned residues burning. The system boundary encompassed impacts associated with the construction of capital equipment, machineries and infrastructures, fuel, electricity, water, fertilizers and pesticides used in the various farming operations.	Farm to gate (Gate-to-Gate)	1 ha and 1 kg of oranges and lemons for fresh consumption	Ecoinvent database and the LCA Food DK database	-	Energy analysis: Direct energy included human labour, electricity, diesel fuel, lubricants and water for irrigation used in the citrus production; while embodied energy covered machinery and maintenance, chemicals, fertilizers, manure and plastic materials. Non-renewable energy consists of diesel, lubricants, chemicals, electricity, fertilizers and machinery energies. Renewable energy includes human labour, plants, manure and water for irrigation. Environmental analysis: abiotic depletion (AD); global warming potential (GWP); photochemical oxidation (PO); air acidification (AA); eutrophication (EU). Costs analysis: all costs were measured considering the current hourly wage of workers for manual and mechanical operations; - machinery and equipment costs were calculated as fixed and operating costs. The estimation of the investment costs was based on the replacement values of the machines (depreciation) and on interest and insurance costs. Operating costs included repair and maintenance costs, as well as fuel and lubricants costs of self-propelled machinery. - costs of irrigation were calculated as the cost of installing an irrigation system and as operating and maintenance cost	SimaPro 7.2	Comparative life cycle assessment	The study found that organic farming systems demonstrated stronger sustainability than conventional systems, particularly for lemons. This was evident in both energy consumption and environmental impact. The enhanced sustainability of organic systems was primarily attributed to the use of environmentally friendly crop inputs, such as non-synthetic fertilizers. In terms of production costs, conventional management systems were found to be more expensive. When comparing the environmental and energy performance per kilogram of final product, the organic production system outperformed the conventional one. The study showed that conventional orange farming had higher environmental impacts in terms of abiotic depletion, global warming potential, and air acidification. In contrast, organic orange farming had lower impacts in these categories, indicating better environmental performance.	While organic farming systems demonstrated better environmental and energy performances, they were also impacted significantly by wages, similar to conventional systems. This indicates that labor costs are a crucial factor in both organic and conventional farming methods. The study highlighted the trade-offs between productivity and environmental impacts in organic and conventional farming systems. While organic systems may be more sustainable and less impactful environmentally, they also involve different cost structures, mainly due to the use of different agricultural inputs and practices.	Italy	Journal of Environmental Management	Environmental and economic
099	Assessing the environmental profile of orange production in Brazil	Coltro, L.; Mourad, A.L.; Kletecke, R.M.; Mendonça, T.A.; Germer, S.P.M.	The goal of this paper was to develop an Life Cycle Inventory study—cradle-to-gate (economic flows)—of	Not mentioned	This study, following the cradle-to-gate approach, focused solely on the inputs and outputs associated with tillage. It did not encompass the production processes	Cradle-to-gate	1,000 kg of oranges for frozen concentrated orange juice	Comprehensive data and information, including the use of water, energy, fertilizers, pesticides, and soil correctors,	-	Not mentioned	PEMS4 software (PIRA Environmental Management System)	Comparative life cycle assessment	The study revealed significant variability in the consumption of inputs across different farms. The inputs considered included pesticides, fertilizers, and soil correctors. The amount of these inputs used varied greatly, suggesting a potential for optimization and reduction in their use	There were notable differences in the levels of inputs used by farms, even within the same production region. This	Brazil	International Journal of Life Cycle Assessment	Environmental

			oranges for frozen concentrated orange juice produced in the major two orange-growing regions of Brazil (Northern and Southern regions of the State of São Paulo), as well as to contribute to the development and application of life cycle assessment methodology in Brazilian agriculture and help build a better understanding of how to reduce the environmental impacts and increase the sustainability of this product.		of fertilizers, soil correctors, or pesticides; instead, only their quantities and transportation to the farms were included. The study accounted for the energy produced and used directly in agricultural operations for running farm machinery and irrigation systems, as well as in transportation stages. Additionally, transport distances for raw materials, fertilizers, soil correctors, pesticides, and oranges from the farms to the processing industries were incorporated within the study's boundaries.		were collected through detailed questionnaires. These were either filled out directly by the farm managers or completed and sent back via mail. The collected data encompassed inputs such as water, energy, fertilizers, pesticides, and soil correctors, as well as transport and emissions to water, air, and soil. The gathered data represented the cultivation practices of 30 orange farms, which were summarized in 23 questionnaires. Models developed at CETEA for expressing road transportation and electric power production in Brazil in terms of LCA were adopted; CO ₂ , K, N, P, Ca, Na, Fe fixation by the fruits were considered according to the methodology described by Mourad et al (2007)					to improve environmental and economic performance. Only 21% of the orange growers showed good performance in terms of environmental sustainability. This was defined as the consumption of pesticides, fertilizers, and soil correction compounds equal to or lower than the weighted averages. However, land use was above average for most of these farms. This finding highlights the need for a more comprehensive approach to improving the environmental profile of orange production in Brazil. The study underscored the importance of revising agricultural management practices. By identifying farms with excessive use of inputs, it pointed out the potential for reducing the environmental impact and enhancing economic performance through better management strategies. The authors suggested that the average values of the best-performing farms be used as benchmarks for establishing environmental standards for the Brazilian FCOJ industry. This recommendation is aimed at encouraging the adoption of practices that could lead to improved sustainability in orange farming.		suggests that local conditions and specific farm characteristics play a significant role in determining the environmental impact of orange production. The study provides a basis for future updates and improvements in the sustainability of orange farming. By including additional data, such as the production of fertilizers, future research could offer more comprehensive insights into the environmental impacts of orange production			
116	Integral use of orange peel waste through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment	Ortiz-Sanchez, M.; Solarte-Toro, J.C.; Orrego-Alzate, C.E.; Acosta-Medina, C.D.; Cardona-Alzate, C.A.	Therefore, the objective of the present paper is to evaluate the production of essential oil, pectin, and biogas as alternatives to valorize orange peel waste from experimental, technical, and economic perspectives	Not mentioned	The experimental section involves the essential oil extraction using steam distillation. Then, the pectin extraction process was carried out using an acid method widely reported in the literature. Finally, the biogas production process was accomplished in batch assays to quantify the biochemical methane potential of the exhausted orange peel waste	Gate-to-grave	Not mentioned	Case study and data from literature	-	Mass indicators: product yield; annual productivity; reaction mass efficiency; carbon conversion efficiency. Energy indicators: Overall energy efficiency; self-generation index; specific energy consumption. Economic evaluation: energy requirements, cost of the equipment, depreciation, maintenance and labor costs, fixed charges, general and administrative costs, and the plant overhead	Aspen Process Economic Analyzer (APEA) software	Energy and economic analysis	Orange peel waste is identified as a potential feedstock to enhance the revenue of the citrus production chain. Essential oil is highlighted as a key economic factor in the orange peel waste biorefinery due to its high market value. The technical assessment suggests the enhancement of the biorefinery by implementing mass and energy integration strategies. The chemical characterization revealed a high fiber content in the raw material, suggesting its potential for producing various products. Approximately 40% content of cellulose and hemicellulose in the material can be used to produce soluble sugars for chemical compounds	The proposed biorefinery's analysis, using orange peel waste as the raw material, concentrated on the mass and energy performance of the process. This included assessing indicators related to yield, productivity, and conversion in the pectin and biogas production processes, as well as conducting an economic evaluation	Colombia	Biomass Conversion and Biorefinery	Environmental and economic
117	Cost Analysis of Using Cover Crops in Citrus Production	Chakravarty, S.; Wade, T.	The key question that we analyzed is whether adopting cover crops is an economically feasible option	Not mentioned	From the plantation until sales	Gate-to-grave	90-lb (40.8 kg) box	Primary data gathered from growers, data from published studies, and secondary data to compare	-	Cultural costs; foliar sprays costs; fertilizer costs; pruning costs; irrigation costs; tree replacement costs; other costs (interest	Not mentioned	Economic analysis	The study reported a consistent decline in both the acreage and production value of citrus from 2006 through 2020. Specifically, total citrus acreage decreased significantly from 621,373 to 419,542 acres. The study focused on the economic feasibility of adopting	The study noted the variability in yields and quality of citrus fruits over different seasons, impacting the	United State of America	HortTechnology	Economic

			for citrus growers.					and discuss possible scenarios in terms of break-even prices		on operating (cultural) costs, management cost, property tax/water management assessment, interest on average capital investment)			cover crops in citrus production. Key figures such as break-even prices for different yield and quality scenarios were calculated, considering various factors like production costs, market prices, and the potential benefits of cover crops.	break-even prices and hence the profitability of adopting cover crops. This variability is crucial for citrus growers when making decisions about incorporating new agricultural practices like cover crops.			
136	On the study of energy and cost analyses of orange production in Mazandaran province	Mohammadshirazi, A.; Akram, A.; Rafiee, S.; Bagheri Kalhor, E.	The main objective of this study is to perform the energy and sensitivity analyses of orange production in Mazandaran province of Iran. Also sensitivity analyses of the energy inputs of the orange yield is conducted, in order to specify a relationship between input energies and yield.	Not mentioned	All the production process involve the Orange	Gate-to-Gate	1 MJ ha ⁻¹	Data is collected from farmers by using a face-to-face questionnaire performed from June to August 2011	-	Human labor, machinery, diesel fuel, farmyard manure, electricity, fertilizers (N, P, K), chemicals and irrigation water. Economic analyses: net profit, gross return, net return, benefit to cost ratio and productivity. Direct energy (DE) covers human labor, diesel and electricity, while indirect energy (IDE) includes energy embodied in fertilizers, chemicals, water for irrigation, farmyard manure, and machinery used in the orchard fruit productions. Renewable energy (RE) consists of human labor, farmyard manure and water for irrigation, whereas non-renewable energy (NRE) includes machinery, diesel fuel, electricity, fertilizer and chemicals.	Excel software	Energy and sensitivity analyses	The total energy requirement for producing orange crops in the study area was approximately 48,900 MJ per hectare. Chemical fertilizers were the most significant energy consumers, with the maximum use being 293.4 kg per hectare. The next highest energy consumption was from chemicals at 106.5 kg per hectare. The study suggests that organic methods, such as Integrated Nutrient Management, could reduce the energy consumption of chemical fertilizers. The average orange yield was calculated as 17,335.8 kg per hectare, with a total energy output of 32,938 MJ per hectare . It found that orange producers need to optimize their use of indirect and non-renewable energy resources due to their excessive use, which inversely affects yield and poses risks to natural resources and human health. The relationship between energy input and yield was estimated using the Cobb–Douglas production function. Significant factors affecting yield included human labor, machinery, and farmyard manure energies. The model indicated that a 1% increase in these inputs would result in respective increases and decreases in yield. The regression results also showed a coefficient of determination (R ²) of 0.81, indicating a strong model fit.	The study highlighted significant variability in energy consumption among different farms, with a particular emphasis on chemical fertilizers and chemicals as the primary energy consumers. The findings stress the importance of sustainable energy practices in orange production. The study suggests exploring organic and integrated nutrient management approaches to reduce the reliance on chemical fertilizers and enhance overall energy efficiency.	Iran	Sustainable Energy Technologies and Assessments	Environmental and economic
182	Economic and Financial Comparison between Organic and Conventional Farming in Sicilian Lemon Orchards	Sgroi, F; Candela, M; Di Trapani, AM; Foderà, M; Squatrito, R; Testa, R; Tudisca, S	So, since profitability is the most important factor for a farmer, in this paper we analyzed the economic and financial sustainability of organic lemon tree in order to evaluate if nowadays, in a so dynamic and complex economic context, organic lemon investment could be convenient. In particular, it has been considered a representative organic lemon farm in which	Not mentioned	All the production process involve the Orange	Gate-to-Gate	One hectare área	Data is collected from farmers by using a face-to-face questionnaire	-	Net Present Value, Internal Rate of Return, the Discounted Cost-Benefit Rate and the Discounted Pay-Back Time. all the costs have been determined considering present hourly earnings of workers for manual and mechanical operations; farm machines and equipment have been calculated considering fixed and operational costs. Fixed costs have been estimated basing on replacement value of farm machines (depreciation) and on interest and	Not mentioned	Economic analysis and sensitivity analyses	Economic and financial indicators show a clear advantage for organic lemon orchards. The gross production value of the organic farm is 6138.28 €/ha, exceeding the 648.98 €/ha of the conventional farm, even though the latter achieves a higher yield (+21% compared to organic farming). The production cost value of an organic farm is 6525.39 €/ha, lower than the 743.02 €/ha of a conventional farm. In terms of production cost relative to the product unit, values recorded were 36.14 €/q (organic) and 31.78 €/q (conventional). Organic production appears to use more renewable resources and less purchased energy and materials, achieving a more sustainable production. Labor costs in an organic farm account for 42.5% (2773.92 €/ha) of the total cost, while in a conventional farm, they account for 43.7% (3178.43 €/ha). The difference is due to the higher yield of the conventional orchard, which is	Financial indicators show a higher convenience for organic farming, highlighting a Net Present Value (NPV) of 52675.57 €/ha, an Internal Rate of Return (IRR) of 28.5%, a Discounted Cash Benefit Ratio (DCBR) of 5.16, and a Discounted Payback Time (DPBT) of 7 years. Conversely, a conventional farm presents an NPV of 34960.60 €/ha, an IRR of 19.0%, a DCBR of 3.76, and a	Italy	Sustainability	Economic

			techno-economical parameters, related to production processes, have been determined.						insurance costs. Operational costs included repair, maintenance, lubricant and gasoline costs; - irrigation cost has been determined considering installation, management and maintenance costs of the irrigation system			directly related to the time required for harvesting	DPBT of 10 years. It is clear that the organic lemon orchard is a more profitable investment compared to the conventional one because the entrepreneur can obtain a higher market price guaranteed by certification. Despite a higher yield per hectare in the conventional lemon (+21%) compared to the organic, the product's market sales price is lower, as in most cases, the farms address the product to the local market and the processing industry. The lower sales price of conventional lemon, related to a higher production cost, allows us to affirm that organic lemon production grants higher profitability for the farmer. Organic farming promotes a more sustainable development of the lemon supply chain from both an economic and environmental perspective, ensuring higher incomes for farmers and reducing environmental impacts. Organic farming could be a positive factor for the revival of citrus production in Sicily, but a concentration of lemon supply through an association of producers appears necessary, as does a generational turnover that guarantees new entrepreneurial strategies.				
183	Choice between alternative investments in	Testa, R; Foderà, M; Di Trapani,	Analyzed the financial sustainability of	Not mentioned	Planting phase, from the first to the fifth year, in which plants	Gate-to-Gate	One hectare área	Techno-economic data were collected from	-	Net present value (NPV), the internal rate of return (IRR),	Not mentioned	Economic analysis, sensitivity	The financial analysis indicated a clear economic advantage for organic lemon farming over conventional methods.	The study concludes that organic farming	Italy	Ecological Engineering	Economic

	agriculture: The role of organic farming to avoid the abandonment of rural areas	AM; Tudisca, S; Sgroi, F	organic lemon tree in order to evaluate whether the investment proves convenient, given the dynamic and complex economic context. In particular, we considered an organic lemon farm whose techno-economical parameters, relative to production processes, were determined. Moreover, in line with similar studies, we compared it to conventional lemon, by also hypothesizing the case study managed according to conventional methods, in order to better evaluate the financial results.		are still developing and any revenues do not exceed costs; increasing-production phase, from the sixth to the ninth year, in which revenues exceed costs as plants continue to grow; maturity phase, from the tenth to the forty-second year, in which plant growth is complete guaranteeing a constant yearly production throughout the period; decreasing-production phase, from the forty-third to the fiftieth year, in which average yield decreases		the farmer by face-to-face questionnaire. The surveyed farm belonged to a Producer Organization to which the whole of its production was allocated. This affords farmers a higher selling price with respect to competitors that allocate their products to local markets or to the processing industry.		the discounted benefit-cost rate (DBCR) and the discounted pay-back time (DPBT) and annual profits and cost incurred	analyses, financial sustainability and cost-benefit analysis	The organic orchard showed a Net Present Value (NPV) of 23187.81 €/ha, an Internal Rate of Return (IRR) of 7.66%, a Discounted Cash Benefit Ratio (DBCR) of 1.17, and a Discounted Payback Time (DPBT) of 17.5 years. In contrast, the conventional lemon orchard presented an NPV of -10396.15 €/ha and a DBCR of 0.93, indicating a lack of profitability for the farmer under current market conditions. The higher revenues and lower costs during the maturity phase primarily drove the financial convenience of organic farming. The study also highlighted the impact of agri-environment payments, without which the financial attractiveness of organic orchards significantly decreased. Organic orchards would remain financially viable even with a 10% decrease in current lemon prices. Conversely, a 10% reduction in sales price for organic orchards without agri-environment payments would make the investment non-viable. For conventional orchards, a 10% increase in market price would make the investment financially viable. Variations in costs had opposing effects compared to sales price changes, with a 10% reduction improving financial indices and a 10% increase making the investment non-viable for organic lemon orchards without agri-environment payments.	is more financially viable for Sicilian lemon farmers due to lower relative costs in the maturity phase and higher market prices guaranteed by certification. Despite higher yields per hectare, conventional lemon farming is less profitable due to lower market prices and higher costs. Organic farming is suggested as a strategy to prevent the abandonment of many Sicilian conventional lemon orchards, promoting a more sustainable development of the lemon supply chain from both economic and environmental perspectives. The study urges caution in interpreting these long-term results, emphasizing the need for entrepreneurs to adapt to dynamic market conditions and acknowledging the potential impact of policy changes, technological advances, and market developments					
196	Psychosocial risk factors' impact pathway for social life cycle assessment: an application to citrus life cycles in South Italy	Iofrida, N.; De Luca, A. I.; Silveri, F.; Falcone, G.; Stillitano, T.; Gulisano, G.; Strano, A.	The purpose of this study is to expand the knowledge about the development of the impact pathway methodologies, i.e., a group of methods dedicated to the analysis and evaluation of those impacts causatively linked to the functioning of products' and services' life cycle. Therefore, this study further developed and fully implemented the	Not mentioned	Plantation, growing phase, increasing production, constant production, decreasing production, and disposal	Cradle to farm gate	Work hours	Gray literature and knowledge of local experts in the field of study	-	Psychosocial risk factors	Not mentioned	Odds ratio and literature Search	The study conducted an inventory analysis, which included defining each cultural phase for the cultivation of industrial oranges and clementines. The analysis categorized various tasks like planting, pruning, and harvesting, and associated these with different working conditions. A literature review was then conducted to correlate these working conditions with diseases, using odds ratios (OR) as a measure of association between the two variables. The results showed that the full life cycle of industrial oranges involved about 43,088 hours of work, compared to 54,110 hours for the clementine life cycle. This difference was mainly attributed to yield sizes and the duration of the harvesting phase. The clementine life cycle potentially exposed stakeholders to the risk of back pain for 67,776 hours with a strong association, against 48,700 hours for the orange life cycle.	The methodology applied in this study, the Psychosocial Risk Factor impact pathway, was developed within the post-positivist paradigms. This method quantified the cause-effect relationships between citrus life cycles and their potential psychosocial impacts on affected workers. The study's ontological posture was critical realism,	Italy	International Journal of Life Cycle Assessment	Social

			impact pathway for SLCA firstly proposed by Gasnier (2012) and Silveri (2014) to allow the assessment of social impacts on workers by means of psychosocial risk factors											aiming to explain reality but involving some assumptions and not disregarding stakeholders' opinions. It provided an objective assessment of the differences between two productive scenarios and is generalizable to other contexts. However, the Psychosocial Risk Factor matrix's composition was limited by the availability of prior scientific studies examining associations in terms of odds ratio and required assumptions in cases where these studies focused on different working contexts. The study highlights the methodology's potential in predicting the consequences of organizational or structural changes in life cycles and its usefulness for both private and public actors in decision-making. It also emphasizes the importance of integrating this methodology into the larger framework of life cycle sustainability assessment (LCSA), noting the potential for future development by including more impact categories and stakeholder groups.			
197	Social life cycle assessment and participatory approaches: A methodological proposal applied to citrus farming in Southern Italy	De Luca, A. I.; Iofrida, N.; Falcone, G.; Gulisano, G.; Strano, A.	To propose a new approach that combines S-LCA with tools derived from qualitative and operational research. More specifically, this study aims to implement participatory and	Not mentioned	From planting to harvesting at farm level) was chosen according to parallel studies that were developed using the same data to assess economic and environmental sustainability. Workers, understood as actors directly involved in the	Cradle to gate	One ha of clementine orchard	Primary data from questionnaires and face-to-face interviews with farmers and secondary data from official statistics, specific gray literature and semistructured	-	Workers: health and safety working conditions included injuries due to working conditions, diseases due to working conditions; fair working conditions included estimated illegal work and risk of immigrants	Not mentioned	Literature review; multicriteria analysis	The study commenced with a literature review on well-being and quality of life to establish a basis for identifying areas of protection in S-LCA. This included both peer-reviewed and grey literature, particularly focusing on the citrus growing sector in Calabria. The study highlighted several key domains, such as health and safety, human dignity, quality of the environment, and economic factors like the profitability of the citrus supply chain and the	The study analyzed economic efficiency using Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR), as well as the impact on employment stability. There	Italy	Integrated Environmental Assessment and Management	Social

			multicriterial tools in an S-LCA application by integrating, simultaneously, environmental, and economic indicators gathered from LCA and LCC analyses conducted by the authors in the same territorial contexto		production of clementines. Local community, designating actors living in the same territory where clementine orchards are located, who are somehow affected in their role of users of local resources (material and immaterial ones). Society, designating actors indirectly affected in terms of quality of the environment and economic development in a broad sense, living far (>30 km) from the territories where clementine orchards are located.				mistreatment; and, equal opportunities included discrimination between workers (italians and foreigners) and discrimination between workers (men and women). Net Present Value and Internal Rate of Return; Estimated Permanent Work; Estimated Temporary Work; Estimated Stability Work; Estimated evasion of social security contribution payments			bargaining power of producers. The study identified three main groups of affected stakeholders: workers directly involved in citrus production, local communities in citrus-growing areas, and broader society impacted by environmental and economic developments. The researchers developed a Social Impact Matrix for the context of the study, based on expert opinions. This matrix categorized and assessed various impacts like health and safety risks, fairness of working conditions, access to resources, use of technology, and the overall reputation of the area. Concerns over risks associated with field operations, indicated by complaints of injury and disease. Concerns over risks associated with field operations, indicated by complaints of injury and disease. Issues of illegal work and risk of immigrants' mistreatment. Data from a Life Cycle Assessment (LCA) were re-elaborated to assess environmental quality and contribution to economic development.	was a notable evasion of social security contributions in the sector, especially in the conventional and organic farms in the Gioia Tauro Plain. The study illustrates the complexity of assessing the social impacts in agricultural sectors and underscores the challenges, particularly in terms of data collection and the integration of different impact categories. Although not explicitly stated in the quoted sections, such studies typically lead to recommendations for policy changes, better industry practices, and further research to address identified issues and improve the overall sustainability of the sector.				
203	Life cycle assessment of energy saving and circular economy strategies: contributions to the environmental footprint lemon and by-product production in Argentina	Martínez, M. E. I.; Díaz, G. F.; Machado, D.; De Nucci, P. G.; Paz, D.; Arena, P.	To assess the environmental impacts of the entire production chain of lemons and their by-products (from planting to commercialization) in Tucumán, Argentina, under different alternative energy scenarios using Life Cycle Assessment (LCA), seeking to replace natural gas with renewable fuels to reduce CO ₂ emissions	Attributional life cycle assessment	Includes cultivation (agricultural subsystem), transportation to industry, and industrial processing (industrial subsystem) up to the factory gate	Cradle-to-gate	1 ton for each final product from orchards (lemons destined for the factory and the market), and 1 ton for each final product from the factory (concentrated juice, dehydrated peel, essential oil, pulp, and compost)	Secondary data were obtained from Ecoinvent 3.0 and Agrifootprint databases. Primary data were gathered directly through interviews with agricultural and industrial experts	ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint	Global warming (GW); stratospheric ozone depletion (SOD); ozone formation—human health (OFHH); fine particulate matter formation (FPMF); ozone formation—terrestrial ecotoxicity (OFTE); terrestrial acidification (TA); freshwater eutrophication (FEU); terrestrial ecotoxicity (TE); freshwater ecotoxicity (FEc); human carcinogenic toxicity (HCT); human non-carcinogenic toxicity (HNCT); land use (LU); mineral resource scarcity (MRS); fossil resource scarcity (FRS); water consumption (WC)	SimaPro® (v 9.5)	Comparative analysis among alternative energy scenarios and the conventional scenario, including sensitivity analysis for economic and mass allocation methods	Alternative scenarios using renewable energy sources (biogas and biomass) significantly reduced carbon dioxide emissions by more than 80% compared to the conventional scenario (natural gas only). Scenario A4 (combined use of biomass from pruning and biogas) achieved the highest sustainability level, completely replacing natural gas and drastically lowering emissions. The production of dehydrated lemon peel was identified as the process with the greatest environmental impact, particularly within the Global Warming (GW) category. Dehydrated peel production requires high amounts of thermal energy, typically generated by burning natural gas, thus contributing significantly to greenhouse gas emissions in conventional scenarios. The study emphasizes the benefits of reusing waste (e.g., lemon residues, pruned biomass) for energy production. Utilizing citrus waste in biogas and biomass scenarios proved highly advantageous by reducing dependency on fossil fuels. Specifically, scenario A3 (total replacement of natural gas by biogas and biomass energy) substantially improved the environmental performance of lemon production processes. Scenario A4 also significantly reduced impacts associated with water consumption (by more than 40%), demonstrating its	The agricultural stage involving young plants had the greatest environmental impact due to higher agrochemical use and lower yields. It is recommended that biomass utilized for energy come from non-irrigated areas to reduce impacts on water consumption.	Argentina	Clean Technologies and Environmental Policy	Environmental and economic

													potential to mitigate water-related environmental burdens by removing the dehydrated peel from the commercial line and reallocating waste for compost production. The study found that the agricultural stage, particularly the cultivation of young plants, had a notably high environmental burden due to the intensive use of agrochemicals, fertilizers, and irrigation practices. Reducing agrochemical and water use at this stage could considerably decrease the environmental impacts throughout the production chain. The authors strongly recommended substituting natural gas with renewable sources generated from the industry's own waste to minimize the environmental footprint. This approach aligns with circular economy principles, enhancing overall production sustainability.				
211	Microwave-assisted acid extraction of high-methoxyl kinnow (Citrus reticulata) peels pectin: Process, techno-functionality, characterization and life cycle assessment	Duggal, M.; Singh, D. P.; Singh, S.; Khubber, S.; Garg, M.; Krishania, M.	To evaluate the efficiency of microwave-assisted acid extraction of pectin from kinnow (Citrus reticulata) peels, analyze its techno-functionality, characterization, and perform a Life Cycle Assessment (LCA) of the extraction process	Attributional life cycle assessment	The study included extraction and precipitation processes for pectin from kinnow peel, considering the impact of chemicals, acetic acid and ethanol, electricity consumption, and processing methods. Cultivation and transportation were excluded from the study	Cradle-to-grave	0.1 kg of kinnow peel	Not explicitly detailed	ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.04/World (2010)	Global warming potential (Climate Change); stratospheric ozone depletion; ionizing radiation; ozone production; human health (carcinogenic and non-carcinogenic toxicity); marine and freshwater eutrophication; fossil resource scarcity; small particle formation; terrestrial ecosystem Toxicity; water usage; mineral resource depletion	SimaPro (9.4.0)	Comparative environmental analysis through LCA with process optimization	The maximum yield of pectin (9.81%) from kinnow peels was achieved using microwave-assisted extraction at 110°C, pH 2.2, for 10 minutes, with a supernatant-to-ethanol ratio of 1:2. This extraction method offered a rapid, efficient alternative compared to conventional methods. Microwave-extracted (ME) kinnow pectin showed a higher galacturonic acid content (63.15%) and purity compared to commercial citrus pectin (60.63%). It presented an equivalent weight of 833 mg, methoxyl content of 7.44%, and degree of esterification (DE) of 66.67%, highlighting its suitability as a high-quality commercial pectin alternative. ME kinnow pectin exhibited a shear-thinning behavior (pseudoplasticity), which is desirable in food applications for texture and mouthfeel. At higher concentrations (20% w/v), the viscosity significantly increased, suggesting strong molecular interactions beneficial for thickening and stabilization properties. ME kinnow pectin displayed superior water-holding capacity (8.27 g/g), oil-holding capacity (3.10 g/g), and water-swelling capacity (20 mL/g) compared to commercial citrus pectin. These enhanced functional attributes make the ME kinnow pectin valuable for applications in food formulations where moisture retention, texture improvement, and fat replacement are desired. The structure analysis (SEM, FTIR, XRD, TGA) indicated that ME kinnow pectin has a porous, compact, rough morphology. It presented lower crystallinity compared to commercial citrus pectin, suggesting better solubility and performance in food products. Thermal stability analysis (TGA) showed similar decomposition patterns to commercial pectin, ensuring its applicability under typical food-processing temperatures. Ethanol used in the extraction and precipitation process accounted for 49% of the total climate change impacts due to its conventional production from fossil-based ethylene hydration. Acetic acid also significantly impacted marine and freshwater ecosystems, contributing	Suggested replacing ethanol from ethylene hydration (non-renewable source) with bioethanol (renewable source) derived from cane or beet molasses to significantly reduce climate impacts. Recommended concentrating extracted pectin before precipitation to reduce ethanol use by up to 80%, and recycling ethanol could further enhance economic and environmental benefits.	India	Food Chemistry: Molecular Sciences	Environmental and economic

notably to environmental burdens. Recommendations include replacing conventional ethanol with bioethanol derived from renewable sources (e.g., sugarcane or beet molasses), potentially reducing climate impacts by up to 25%. Concentrating pectin extracts prior to ethanol precipitation and recycling ethanol through distillation were proposed strategies, potentially reducing solvent use by up to 80%, significantly improving the environmental profile and economic feasibility of the extraction process.

APÊNDICE 3

Tabela 22 - contribuição das entradas para os impactos ambientais em Buri

<i>Mudança climática - longo prazo (MC (longo))</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	-1,47x10 ⁺⁰⁰	-8,50x10 ⁺⁰¹
5,21x10 ⁺⁰³	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	7,63x10 ⁺⁰¹	3,87x10 ⁺⁰⁰
3,56x10 ⁺⁰²	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	5,21x10 ⁺⁰⁰	2,89x10 ⁺⁰⁰
8,50E+01	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	1,25x10 ⁺⁰⁰	9,84x10 ⁻⁰¹
3,97x10 ⁺⁰¹	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	5,82x10 ⁻⁰¹	2,63x10 ⁻⁰²
6,09x10 ⁺⁰⁰	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U - BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	8,93x10 ⁻⁰²	5,33x10 ⁻⁰²
3,14x10 ⁺⁰⁰	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U – GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	4,60x10 ⁻⁰²	6,65x10 ⁻⁰⁴
<i>Mudança climática - curto prazo (MC (curto))</i>					

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total kg CO₂ eq. (curto)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	2,22x10 ⁺⁰¹	-8,50x10 ⁺⁰¹
4,49x10 ⁺⁰²	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	9,95x10 ⁺⁰¹	6,49x10 ⁺⁰⁰
2,51x10 ⁰¹	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	5,57x10 ⁺⁰⁰	2,89x10 ⁺⁰⁰
6.06	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	1.34x10 ⁺⁰⁰	1.01x10 ⁺⁰⁰
2,86	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	6,25x10 ⁻⁰¹	2,64x10 ⁻⁰²
4,30x10 ⁻⁰¹	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U - BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	9,45x10 ⁻⁰²	5,33x10 ⁻⁰²
2,30x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	5,05x10 ⁻⁰²	6,65x10 ⁻⁰⁴
Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (MJ privados)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	4,79x10 ⁺⁰²	0

7,91x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	3,79x10 ⁺⁰²	0
1,51x10 ⁺⁰¹	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	7,26x10 ⁺⁰¹	0
3,77x10 ⁺⁰⁰	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	1,81x10 ⁺⁰¹	0
1,44x10 ⁺⁰⁰	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	6,92x10 ⁺⁰⁰	0
2,70x10 ⁻⁰¹	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	1,32x10 ⁺⁰⁰	0
2,20x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	1,06x10 ⁺⁰⁰	0

<i>Acidificação de água doce (AAD)</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (MJ privados)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	7,82x10 ⁻¹³	0
9,08x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	7,09x10 ⁻¹³	0
7,03x10 ⁺⁰⁰	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	5,49x10 ⁻¹⁴	2,40x10 ⁻¹⁴

1,08	<i>in agricultural machinery Cutoff, U - GLO</i>	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	8,44x10 ⁻¹⁵	2,26x10 ⁻¹⁶
1	<i>Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW</i>	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	7,79x10 ⁻¹⁵	4,07x10 ⁻¹⁵
6,80x10 ⁻⁰²	<i>Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO</i>	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	5,32x10 ⁻¹⁶	1,86x10 ⁻¹⁶
5,38x10 ⁻⁰²	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, Unregulated Cutoff, U - BR</i>	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	4,21x10 ⁻¹⁶	0
	<i>Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO</i>				

<i>Ecotoxicidade em água doce (EAD)</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (CTUe)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	6,40x10 ⁺⁰⁵	0
8,63x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	5,52x10 ⁺⁰⁵	0
9,47x10 ⁺⁰⁰	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	6.06x10 ⁺⁰⁴	3,81x10 ⁺⁰¹
3,88	Fruit tree seedling production, for	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	2,48x10 ⁺⁰⁴	1,30x10 ⁺⁰³

0,13	planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	8,35x10 ⁺⁰²	2,019720302
1,00x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	6,55x10 ⁺⁰²	3,40x10 ⁻⁰⁵
6,90x10 ⁻⁰²	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U - BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	4,41x10 ⁺⁰²	3,32x10 ⁻⁰³
Eutrofização de água doce (EuAD)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg PO₄ P-lim. eq.)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	4,13x10 ⁻⁰³	0
9,99x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	4,12x10 ⁻⁰³	0
6,53x10 ⁻⁰²	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	2.70x10 ⁻⁰⁶	2,19x10 ⁻⁰⁶
4,22x10 ⁻⁰²	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	1,74x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰

5,92x10 ⁻⁰³	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	2,44x10 ⁻⁰⁷	0
5,11x10 ⁻⁰³	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	2,11x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,26x10 ⁻⁰³	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U - BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	5.18x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰

Toxicidade humana - cancerígena (TH)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (CTUh)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	3,00x10 ⁻⁰⁶	0
7,58x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	2,27x10 ⁻⁰⁶	0
1,95x10 ⁺⁰¹	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	5,86x10 ⁻⁰⁷	3,67x10 ⁻¹⁰
3,77x10 ⁺⁰⁰	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	1,13x10 ⁻⁰⁷	1,72x10 ⁻¹⁰
5,80x10 ⁻⁰¹	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	1,75x10 ⁻⁰⁸	2,44x10 ⁻⁰⁹

2,20x10 ⁻⁰¹	machinery Cutoff, U – GLO Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	6,56x10 ⁻⁰⁹	1,21x10 ⁻¹²
1,20x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U – GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	3,54x10 ⁻⁰⁹	3,41x10 ⁻¹¹

<i>Toxicidade humana (não-cancerígena)</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (CTUh)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1.00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2.00x10 ⁺⁰¹	Kg	-1,33x10 ⁻⁰⁶	0
5.79x10 ⁺⁰¹	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1.45x10 ⁺⁰¹	MJ	7,72x10 ⁻⁰⁷	7,48x10 ⁻⁰⁷
5.58x10 ⁺⁰¹	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	4.12x10 ⁺⁰¹	MJ	7,44x10 ⁻⁰⁷	2,53x10 ⁻⁰⁷
1,48x10 ⁺⁰¹	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	1,97x10 ⁻⁰⁷	5,80x10 ⁻⁰⁸
5,90x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	7,87x10 ⁻⁰⁹	0

5,60x10 ⁻⁰¹	Cutoff, U – GLO Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	7,43x10 ⁻⁰⁹	1,45x10 ⁻¹⁰
2,30x10 ⁺⁰²	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	-3,06x10 ⁻⁰⁶	0
<i>Radiações ionizantes</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (Bq C-14 eq.)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR- SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	1,25x10 ⁺⁰²	0
8,79x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	1,10x10 ⁺⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,43x10 ⁺⁰⁰	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	9,26x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,93x10 ⁺⁰⁰	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	4,90x10 ⁺⁰⁰	0.00x10 ⁺⁰⁰
3,80x10 ⁻⁰¹	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	4,77x10 ⁻⁰¹	0
2,20x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	2,73x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,30x10 ⁻⁰¹	transport, freight, lorry	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	1,57x10 ⁻⁰¹	0

3.5-7.5 metric
ton,
unregulated |
transport,
freight, lorry
3.5-7.5 metric
ton,
unregulated |
Cutoff, U – BR

<i>Ocupação de terras (perda de biodiversidade)</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (m² de terras aráveis eq.ano)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	1,48x10 ⁺⁰²	1,42x10 ⁺⁰²
3,87x10 ⁺⁰⁰	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	5,73x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,16x10 ⁻⁰²	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	1,21x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,18x10 ⁻⁰³	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	6,19x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,44x10 ⁻⁰³	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	2,13x10 ⁻⁰³	0
5,38x10 ⁻⁰⁴	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	7,96x10 ⁻⁰⁴	0.00x10 ⁺⁰⁰
1,55x10 ⁻⁰⁴	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	2,29x10 ⁻⁰⁴	0

ionic surfactant
| Cutoff, U –
GLO

<i>Transformação de terras (perda de biodiversidade)</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (m² de terras aráveis eq.)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	-2,31x10 ⁺⁰¹	-3,32x10 ⁺⁰¹
4,39x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	1,01x10 ⁺⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,26x10 ⁻⁰²	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	2,91x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,40x10 ⁻⁰⁴	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	1,02x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,67x10 ⁻⁰⁴	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	8,49x10 ⁻⁰⁵	0
2,38x10 ⁻⁰⁴	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	5,49x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,21x10 ⁻⁰⁴	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U – GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	2,79x10 ⁻⁰⁵	0
<i>Eutrofização marinha</i>					

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg N N-lim. eq..)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	8,15x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,40x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	7,66x10 ⁻⁰³	1,43x10 ⁻⁰⁵
4,58x10 ⁺⁰⁰	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	3,73x10 ⁻⁰⁴	2,32x10 ⁻⁰⁴
9,10x10 ⁻⁰¹	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	7,43x10 ⁻⁰⁵	4,18x10 ⁻⁰⁵
3,30x10 ⁻⁰¹	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	2,67x10 ⁻⁰⁵	3,09x10 ⁻⁰⁶
1,40x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	1,14x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,67x10 ⁻⁰²	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	4.62x10 ⁻⁰⁶	1,61x10 ⁻⁰⁶
Uso de recursos minerais					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg privados)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	2,87x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

7,82x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	2,24x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,38x10 ⁺⁰¹	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	3,96x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,17x10 ⁺⁰⁰	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	2,06x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,50x10 ⁻⁰¹	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	1,58x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,60x10 ⁻⁰¹	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U – GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	4,54x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰

Degradação da camada de ozônio					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CFC-11 eq.)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	1,31x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,98x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	1,18x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,60x10 ⁺⁰⁰	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	8,64x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,68x10 ⁺⁰⁰	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	2,20x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰

1,58x10 ⁺⁰⁰	Cutoff, U – RoW Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	2,07x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,60x10 ⁻⁰¹	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	3,42x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,11x10 ⁻⁰²	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U – GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	4,07x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Formação de material particulado					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg PM_{2.5} eq.)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	4,93x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,23x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	4,55x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,87x10 ⁺⁰⁰	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	2,89x10 ⁻⁰⁶	1,42x10 ⁻⁰⁶
8,30x10 ⁻⁰¹	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	4,07x10 ⁻⁰⁷	2,80x10 ⁻⁰⁷
8,20x10 ⁻⁰¹	Fruit tree seedling production, for	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	4,02x10 ⁻⁰⁷	1,77x10 ⁻⁰⁸

1,10x10 ⁻⁰¹	<i>planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW</i>	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	5,27x10 ⁻⁰⁸	2,17x10 ⁻⁰⁸
	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR</i>				
4,83x10 ⁻⁰²	<i>Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U – GLO</i>	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	2.38x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰

Formação de oxidantes fotoquímicos					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg NMVOC eq.)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	2,63x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,97x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	1,83x10 ⁻⁰¹	1,15x10 ⁻⁰³
2,05x10 ⁺⁰¹	<i>Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO</i>	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	5,40x10 ⁻⁰²	3,80x10 ⁻⁰²
8,65x10 ⁺⁰⁰	<i>Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO</i>	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	2,28x10 ⁻⁰²	2,02x10 ⁻⁰²
8,60x10 ⁻⁰¹	<i>Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW</i>	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	2,27x10 ⁻⁰³	1,86x10 ⁻⁰⁵

2,00x10 ⁻⁰¹	<i>Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated </i>	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	5,27x10 ⁻⁰⁴	2,65x10 ⁻⁰⁴
6,48x10 ⁻⁰²	<i>Cutoff, U – BR Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U – GLO</i>	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	1,70x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰

<i>Acidificação terrestre</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg SO₂ eq.)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	2,12x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,37x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	1,99x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,86x10 ⁺⁰⁰	Diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U – GLO	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	1,03x10 ⁻⁰⁷	4,36x10 ⁻⁰⁸
7,00x10 ⁻⁰¹	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	1,49x10 ⁻⁰⁸	6,96x10 ⁻⁰⁹
6,50x10 ⁻⁰¹	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	1,38x10 ⁻⁰⁸	8,22x10 ⁻¹⁰
5,26x10 ⁻⁰²	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	1,12x10 ⁻⁰⁹	3,69x10 ⁻¹⁰

4,40x10 ⁻⁰²	3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U – GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	9,35x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
<i>Escassez de água</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (m3 eq. mundial)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja - BR-SP	2,00x10 ⁺⁰¹	Kg	2,43x10 ⁺⁰³	6,65x10 ⁻⁰³
1,03x10 ⁺⁰²	Manure management - BR-SP	1,36x10 ⁺⁰²	Kg	2,49x10 ⁺⁰³	0
-1,96x10 ⁻⁰²	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U – BR	2,80x10 ⁻⁰¹	t*km	-4,75x10 ⁻⁰¹	0
-3,05x10 ⁻⁰²	Non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U – GLO	1,46x10 ⁻⁰²	Kg	-7,40x10 ⁻⁰¹	-5,67x10 ⁻⁰³
-5,39x10 ⁻⁰²	Petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U – GLO	1,45x10 ⁺⁰¹	MJ	-1,31x10 ⁺⁰⁰	0
-0,61	Fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U – RoW	4,87x10 ⁻⁰¹	Item(s)	-1,47x10 ⁺⁰¹	0
-1,97	Diesel, burned in agricultural	4,12x10 ⁺⁰¹	MJ	-4,78x10 ⁺⁰¹	0

*machinery |
diesel, burned
in agricultural
machinery |
Cutoff, U –
GLO*

APÊNDICE 4

Tabela 23 - contribuição das entradas para os impactos ambientais em Itapetininga

<i>Mudança climática - longo prazo (MC (longo))</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	5,36x10 ⁻⁰¹	-1,96x10 ⁺⁰⁰
4,39x10 ⁺⁰²	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	2,35x10 ⁺⁰⁰	1,19x10 ⁻⁰¹
2,49x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,33x10 ⁻⁰¹	1,05x10 ⁻⁰¹
2,23x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,20x10 ⁻⁰²	5,41x10 ⁻⁰⁴
4,93x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	2,64x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,82x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	3,65x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
<i>Mudança climática - curto prazo (MC (curto))</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,26x10 ⁺⁰⁰	-1,96x10 ⁺⁰⁰
2,43x10 ⁺⁰²	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	3,06x10 ⁺⁰⁰	2,00x10 ⁻⁰¹
1,14x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,44x10 ⁻⁰¹	1,08x10 ⁻⁰¹
1,02x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,28x10 ⁻⁰²	5,43x10 ⁻⁰⁴

2,24x10 ⁻⁰²	planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	2,82x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,12x10 ⁻⁰⁴	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	3,93x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO				
Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,38x10 ⁺⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,49x10 ⁺⁰¹	Manure	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	1,17x10 ⁺⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,41x10 ⁺⁰¹	management - BR-SP				
	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,94x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,03x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,42x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,82x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,89x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,58x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	4,92x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

*fertiliser, as P2O5 |
Cutoff, U - GLO*

Acidificação de água doce (AAD)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	2,29x10 ⁻¹⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,56x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	2,19x10 ⁻¹⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,65x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,34x10 ⁻¹⁶	4,35x10 ⁻¹⁶
7,60x10 ⁻⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,73x10 ⁻¹⁶	4,64x10 ⁻¹⁸
1,42x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,26x10 ⁻¹⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,73x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	3,95x10 ⁻²⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Ecotoxicidade em água doce (EAD)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,76x10 ⁺⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,66x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	1,70x10 ⁺⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,89x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,10x10 ⁺⁰²	2,67x10 ⁺⁰¹
5,10x10 ⁻⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded,	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,94x10 ⁺⁰¹	2,16x10 ⁻⁰¹

1,36x10 ⁻⁰²	burned in machinery Cutoff, U - GLO market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	2,40x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,34x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	5,89x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Eutrofização de água doce (EuAD)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,27x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,99x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR- SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	1,27x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,36x10 ⁻⁰²	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,54x10 ⁻⁰⁸	4,50x10 ⁻⁰⁸
1,78x10 ⁻⁰²	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,26x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,51x10 ⁻⁰⁵	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,08x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,02x10 ⁻⁰⁶	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	1,30x10 ⁻¹²	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

fertiliser, as P2O5 |
Cutoff, U - GLO

Toxicidade humana - cancerígena (TH)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	7,43x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,43x10 ⁺⁰¹	Manure	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	7,01x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
	management - BR-SP				
3,13x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,32x10 ⁻⁰⁹	3,53x10 ⁻¹²
2,53x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,88x10 ⁻⁰⁹	2,61x10 ⁻¹⁰
2,90x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	2,16x10 ⁻¹¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,22x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer, agricultural transport, tractor and trailer, agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	6,85x10 ⁻¹³	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-7,62x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,09x10 ⁺⁰³	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,27x10 ⁻⁰⁸	8,00x10 ⁻⁰⁸
5,31x10 ⁺⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,04x10 ⁻⁰⁹	1,19x10 ⁻⁰⁹
2,60x10 ⁻⁰¹	market for limestone, crushed,	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,97x10 ⁻¹¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

7,45x10 ⁻⁰³	washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	5,67x10 ⁻¹³	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,24x10 ⁺⁰³	Manure management - BR- SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	-9,44x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
Radiações ionizantes (RI)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO ₂ eq. (longo)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	3,53x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,57x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR- SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	3,38x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,85x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,01x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,45x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	5,11x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,34x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	4,72x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,73x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	9,65x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT)					

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	4,23x10 ⁺⁰⁰	4,05x10 ⁺⁰⁰
4,17x10 ⁺⁰⁰	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	1,76x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,01x10 ⁻⁰³	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,27x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,01x10 ⁻⁰³	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,52x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,04x10 ⁻⁰⁴	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,71x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,83x10 ⁻⁰⁶	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	7,76x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Transformação de terras - perda de biodiversidade (TT)

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-6,36x10 ⁻⁰¹	-9,49x10 ⁻⁰¹
4,92x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	3,13x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,43x10 ⁻⁰³	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	9,08x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,28x10 ⁻⁰⁴	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,09x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰

2,70x10 ⁻⁰⁵	<i>market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,72x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,92x10 ⁻⁰⁷	<i>market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW</i>	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	1,86x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	<i>market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Eutrofização marinha (EM)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	2,44x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,65x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	2,36x10 ⁻⁰⁴	4,40x10 ⁻⁰⁷
3,25x10 ⁺⁰⁰	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO</i>	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	7,95x10 ⁻⁰⁶	4,47x10 ⁻⁰⁶
2,20x10 ⁻⁰¹	<i>fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW</i>	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,49x10 ⁻⁰⁷	6,35x10 ⁻⁰⁸
1,27x10 ⁻⁰²	<i>market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,10x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,63x10 ⁻⁰⁵	<i>market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW</i>	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	2,11x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	<i>market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Uso de recursos minerais (URM)					

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	7,51x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,21x10 ⁺⁰¹	Manure	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	6,92x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
	management - BR-SP				
5,63x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,23x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,25x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,69x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,30x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	9,79x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,49x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	2,62x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Degradação da camada de ozônio (DMO)

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	3,89x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,31x10 ⁺⁰¹	Manure	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	3,63x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
	management - BR-SP				
5,70x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,22x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,16x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,51x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

1,15x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	4,47x10 ⁻¹²	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,50x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	5,83x10 ⁻¹⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Formação de material particulado (FMP)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,45x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,64x10 ⁺⁰¹	Manure management - BR-SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	1,40x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,00x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	4,36x10 ⁻⁰⁸	2,99x10 ⁻⁰⁸
5,70x10 ⁻⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	8,26x10 ⁻⁰⁹	3,64x10 ⁻¹⁰
2,58x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,75x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,48x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	2,15x10 ⁻¹²	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)					

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	8,14x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,94x10 ⁺⁰¹	Manure	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	5,65x10 ⁻⁰³	3,54x10 ⁻⁰⁵
	management - BR-SP				
2,99x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,44x10 ⁻⁰³	2,17x10 ⁻⁰³
	petrol, unleaded, burned in machinery				
	Cutoff, U - GLO				
5,70x10 ⁻⁰¹	fruit tree seedling production, for planting	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,66x10 ⁻⁰⁵	3,83x10 ⁻⁰⁷
	fruit tree seedling, for planting				
	Cutoff, U - RoW				
4,71x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,83x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
	limestone, crushed, washed				
	Cutoff, U - RoW				
3,90x10 ⁻⁰⁴	market for transport, tractor and trailer, agricultural	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	3,18x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
	transport, tractor and trailer, agricultural				
	Cutoff, U - RoW				
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
	organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5				
	Cutoff, U - GLO				
Acidificação terrestre (AT)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	6,32x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,70x10 ⁺⁰¹	Manure	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	6,13x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
	management - BR-SP				
2,53x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,60x10 ⁻⁰⁹	7,45x10 ⁻¹⁰
	petrol, unleaded, burned in machinery				
	Cutoff, U - GLO				
4,50x10 ⁻⁰¹	fruit tree seedling production, for planting	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,84x10 ⁻¹⁰	1,69x10 ⁻¹¹
	fruit tree seedling, for planting				
	Cutoff, U - RoW				
1,08x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed,	4,50x10 ⁻⁰²	kg	6,84x10 ⁻¹²	0,00x10 ⁺⁰⁰

1,23x10 ⁻⁰⁴	washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	7,79x10 ⁻¹⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Escassez de água (EA)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	7,65x10 ⁺⁰¹	2,37x10 ⁻⁰¹
1,00x10 ⁺⁰²	Manure management - BR- SP	4,20x10 ⁺⁰⁰	kg	7,67x10 ⁺⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
-6,79x10 ⁻⁰⁵	market for transport, tractor and trailer; agricultural transport, tractor and trailer; agricultural Cutoff, U - RoW	1,01x10 ⁻⁰⁵	t*km	-5,19x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
-2,41x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	-1,84x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
-1,80x10 ⁻⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	-1,40x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
-4,00x10 ⁻⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	-3,03x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE 5

Tabela 24 - contribuição das entradas sensibilizada com esterco de galinha para os impactos ambientais em Buri

<i>Mudança climática - longo prazo (MC (longo))</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-2,90x10 ⁺⁰⁰	-4,03x10 ⁺⁰⁰
2,67x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	7,74x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,99x10 ⁺⁰⁰	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,61x10 ⁻⁰¹	1,44x10 ⁻⁰¹
2,15x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	6,23x10 ⁻⁰²	4,92x10 ⁻⁰²
1,00x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,91x10 ⁻⁰²	1,32x10 ⁻⁰³
7,95x10 ⁻⁰²	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	2,30x10 ⁻⁰³	3,32x10 ⁻⁰⁵
<i>Mudança climática - curto prazo (MC (curto))</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-2,80x10 ⁺⁰⁰	-4,03x10 ⁺⁰⁰
3,01x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	8,44x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

9,95x10 ⁺⁰⁰	Cutoff, U - GLO diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,79x10 ⁻⁰¹	1,45x10 ⁻⁰¹
2,40x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	6,71x10 ⁻⁰²	5,03x10 ⁻⁰²
1,12x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	3,13x10 ⁻⁰²	1,32x10 ⁻⁰³
9,01x10 ⁻⁰²	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	2,52x10 ⁻⁰³	3,32x10 ⁻⁰⁵

Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,46x10 ⁺⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,62x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	9,65x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,49x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	3,63x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,20x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol,	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	9,04x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

2,37x10 ⁺⁰⁰	unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	3,46x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,60x10 ⁻⁰¹	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	5,31x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰

Acidificação de água doce (AAD)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo)</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,23x10 ⁻¹⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,10x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	8,75x10 ⁻¹⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,23x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,75x10 ⁻¹⁵	1,20x10 ⁻¹⁵
3,42x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,22x10 ⁻¹⁶	1,13x10 ⁻¹⁷
3,16x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	3,90x10 ⁻¹⁶	2,03x10 ⁻¹⁶
1,70x10 ⁻⁰¹	non-ionic surfactant	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	2,10x10 ⁻¹⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰

production,
ethylene oxide
derivate | non-
ionic surfactant
| Cutoff, U -
GLO

Ecotoxicidade em água doce (EAD)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,30x10 ⁺⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,65x10 ⁺⁰¹	market for	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	8,64x10 ⁺⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
	poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO				
2,33x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	3,03x10 ⁺⁰³	1,90x10 ⁺⁰⁰
	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW				
9,55x10 ⁺⁰⁰		2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,24x10 ⁺⁰³	6,49x10 ⁺⁰¹
	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO				
3,20x10 ⁻⁰¹		7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	4,18x10 ⁺⁰¹	1,01x10 ⁻⁰¹
	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO				
2,50x10 ⁻⁰¹		7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	3,28x10 ⁺⁰¹	1,70x10 ⁻⁰⁶
Eutrofização de água doce (EuAD)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	3,50x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,85x10 ⁺⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,35x10 ⁻⁰⁷	1,10x10 ⁻⁰⁷

3,01x10 ⁺⁰¹	tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	1,05x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,49x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,71x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,49x10 ⁺⁰⁰	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	1,22x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,01x10 ⁺⁰⁰	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	1,05x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO				

Toxicidade humana - cancerígena (TH)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	8,47x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,75x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	4,87x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,46x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,93x10 ⁻⁰⁸	1,84x10 ⁻¹¹
6,68x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling,	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,66x10 ⁻⁰⁹	8,59x10 ⁻¹²

1,03x10 ⁺⁰⁰	for planting Cutoff, U - RoW petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	8,76x10 ⁻¹⁰	1,22x10 ⁻¹⁰
2,10x10 ⁻⁰¹	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	1,77x10 ⁻¹⁰	1,71x10 ⁻¹²

Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,89x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,44x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	1,03x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,04x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	3,86x10 ⁻⁰⁸	3,74x10 ⁻⁰⁸
1,97x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	3,72x10 ⁻⁰⁸	1,26x10 ⁻⁰⁸
5,21x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	9,84x10 ⁻⁰⁹	2,90x10 ⁻⁰⁹

2,10x10 ⁻⁰¹	<i>non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO</i>	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	3,94x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Radiações ionizantes (RI)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	6,94x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,93x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO</i>	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	6,20x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,67x10 ⁺⁰⁰	<i>diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO</i>	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	4,63x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,53x10 ⁺⁰⁰	<i>fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW</i>	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,45x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,40x10 ⁻⁰¹	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO</i>	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	2,39x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,00x10 ⁻⁰¹	<i>non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO</i>	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	1,37x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰

Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	7,12x10 ⁺⁰⁰	7,11x10 ⁺⁰⁰
9,01x10 ⁻⁰²	<i>market for poultry manure,</i>	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	6,42x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰

8,48x10 ⁻⁰²	dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	6,04x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,34x10 ⁻⁰³	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	3,09x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,57x10 ⁻⁰⁴	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	3,97x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,61x10 ⁻⁰⁴	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	1,15x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO				

Transformação de terras - perda de biodiversidade (TT)

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-1,66x10 ⁺⁰⁰	-1,66x10 ⁺⁰⁰
8,76x10 ⁻⁰³	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,46x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,83x10 ⁻⁰³	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	6,37x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,05x10 ⁻⁰⁴	fruit tree seedling production, for	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,08x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰

2,55x10 ⁻⁰⁴	planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	4,24x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,38x10 ⁻⁰⁵	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	1,39x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO				

Eutrofização marinha (EM)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO ₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	5,24x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,37x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	2,81x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,56x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,87x10 ⁻⁰⁵	1,16x10 ⁻⁰⁵
7,09x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	3,72x10 ⁻⁰⁶	2,09x10 ⁻⁰⁶
2,55x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,34x10 ⁻⁰⁶	1,55x10 ⁻⁰⁷

1,08x10 ⁺⁰⁰	<i>non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO</i>	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	5,68x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰

Uso de recursos minerais (URM)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	6,69x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,35x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO</i>	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	3,58x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,96x10 ⁺⁰¹	<i>diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO</i>	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,98x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,54x10 ⁺⁰¹	<i>fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW</i>	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,03x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,18x10 ⁺⁰⁰	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO</i>	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	7,88x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,40x10 ⁻⁰¹	<i>non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO</i>	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	2,27x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰

Degradação da camada de ozônio (DMO)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,19x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰

4,54x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U – GLO</i>	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	5,38x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,64x10 ⁺⁰¹	<i>diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO</i>	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	4,32x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,27x10 ⁺⁰⁰	<i>fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW</i>	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,10x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,74x10 ⁺⁰⁰	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO</i>	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	1,04x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,70x10 ⁻⁰¹	<i>non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO</i>	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	2,04x10 ⁻¹¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

Formação de material particulado (FMP)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	7,23x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,43x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO</i>	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	5,37x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,00x10 ⁺⁰¹	<i>diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO</i>	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,44x10 ⁻⁰⁷	7,11x10 ⁻⁰⁸

2,81x10 ⁺⁰⁰	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO</i>	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	2,04x10 ⁻⁰⁸	1,40x10 ⁻⁰⁸
2,78x10 ⁺⁰⁰	<i>fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW</i>	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,01x10 ⁻⁰⁸	8,85x10 ⁻¹⁰
1,60x10 ⁻⁰¹	<i>non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non-ionic surfactant Cutoff, U - GLO</i>	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	1,19x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰

Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	7,27x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,55x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO</i>	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	3,31x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,72x10 ⁺⁰¹	<i>diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO</i>	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,70x10 ⁻⁰³	1,90x10 ⁻⁰³
1,57E+01	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO</i>	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	1,14x10 ⁻⁰³	1,01x10 ⁻⁰³
1,56x10 ⁺⁰⁰	<i>fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling,</i>	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,14x10 ⁻⁰⁴	9,31x10 ⁻⁰⁷

1,20x10 ⁻⁰¹	for planting Cutoff, U - RoW non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	8,52x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
Acidificação terrestre (AT)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	2,78x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,61x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	2,11x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,86x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	5,16x10 ⁻⁰⁹	2,18x10 ⁻⁰⁹
2,69x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	7,45x10 ⁻¹⁰	3,48x10 ⁻¹⁰
2,49x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	6,91x10 ⁻¹⁰	4,11x10 ⁻¹¹
1,70x10 ⁻⁰¹	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	4,67x10 ⁻¹¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
Escassez de água (EA)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>

1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	2,78x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,59x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	5,07x10 ⁺⁰⁰	kg	2,11x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,85x10 ⁺⁰¹	diesel, burned in agricultural machinery diesel, burned in agricultural machinery Cutoff, U - GLO	2,06x10 ⁺⁰⁰	MJ	5,16x10 ⁻⁰⁹	2,18x10 ⁻⁰⁹
2,68x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	7,25x10 ⁻⁰¹	MJ	7,45x10 ⁻¹⁰	3,48x10 ⁻¹⁰
2,48x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	2,43x10 ⁻⁰²	Item(s)	6,91x10 ⁻¹⁰	4,11x10 ⁻¹¹
2,00x10 ⁻⁰¹	transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U - BR	1,40x10 ⁻⁰²	t*km	5,58x10 ⁻¹¹	1,85x10 ⁻¹¹
1,70x10 ⁻⁰¹	non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate non- ionic surfactant Cutoff, U - GLO	7,30x10 ⁻⁰⁴	kg	4,67x10 ⁻¹¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE 6

Tabela 25 - contribuição das entradas sensibilizada com esterco de galinha para os impactos ambientais em Itapetininga

<i>Mudança climática - longo prazo (MC (longo))</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-1,31x10 ⁺⁰⁰	-1,96x10 ⁺⁰⁰
3,92x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	5,11x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,02x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,33x10 ⁻⁰¹	1,05x10 ⁻⁰¹
9,20x10 ⁻⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	MJ	1,20x10 ⁻⁰²	5,41x10 ⁻⁰²
2,02x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,64x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
<i>Mudança climática - curto prazo (MC (curto))</i>					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-1,25x10 ⁺⁰⁰	-1,96x10 ⁺⁰⁰
4,47x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	5,57x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,15x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,44x10 ⁻⁰¹	1,08x10 ⁻⁰¹
1,03x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,28x10 ⁻⁰²	5,43x10 ⁻⁰⁴

2,26x10 ⁻⁰²	<i>market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	2,82x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	<i>market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Uso de energia fóssil e nuclear (UEFN)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	8,45x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,54x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO</i>	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	6,37x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,29x10 ⁺⁰¹	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO</i>	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,94x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,68x10 ⁺⁰⁰	<i>fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW</i>	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,42x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,60x10 ⁻⁰²	<i>market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,89x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	<i>market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO</i>	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Acidificação de água doce (AAD)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	6,7x10 ⁻¹⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,51x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO</i>	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	5,78x10 ⁻¹⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,23x10 ⁺⁰¹	<i>petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded,</i>	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,34x10 ⁻¹⁶	4,35x10 ⁻¹⁶

2,55x10 ⁺⁰⁰	burned in machinery Cutoff, U - GLO fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,73x10 ⁻¹⁶	4,64x10 ⁻¹⁸
4,80x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,26x10 ⁻¹⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Ecotoxicidade em água doce (EAD)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	6,31x10 ⁺⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,05x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	5,71x10 ⁺⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,08x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,10x10 ⁺⁰²	2,67x10 ⁺⁰¹
1,42x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,94x10 ⁺⁰¹	2,16x10 ⁻⁰¹
3,80x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	2,40x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Eutrofização de água doce (EuAD)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,48x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,71x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	6,95x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰

3,75x10 ⁺⁰¹	poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,54x10 ⁻⁰⁸	4,50x10 ⁻⁰⁸
1,53x10 ⁺⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,26x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,32x10 ⁻⁰²	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,08x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO				

Toxicidade humana - cancerígena (TH)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO ₂ eq. (longo)	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	3,64x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,84x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	3,22x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,38x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,32x10 ⁻⁰⁹	3,53x10 ⁻¹²
5,16x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,88x10 ⁻⁰⁹	2,61x10 ⁻¹⁰
5,93x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	2,16x10 ⁻¹¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,55x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,35x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,27x10 ⁻⁰⁸	8,00x10 ⁻⁰⁸
4,39x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	6,79x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,62x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,04x10 ⁻⁰⁹	1,19x10 ⁻⁰⁹
1,27x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,97x10 ⁻¹¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Radiações ionizantes (RI)					
<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	4,25x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,64x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	4,09x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,37x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,01x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,20x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	5,11x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,11x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	4,72x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰

0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	4,06x10 ⁺⁰⁰	4,05x10 ⁺⁰⁰
1,00x10 ⁻⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	4,24x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,13x10 ⁻⁰³	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	1,27x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,10x10 ⁻⁰³	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	8,52x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
4,21x10 ⁻⁰⁴	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,71x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Transformação de terras - perda de biodiversidade (TT)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-9,49x10 ⁻⁰¹	-9,49x10 ⁻⁰¹
4,43x10 ⁻⁰³	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	4,21x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
9,58x10 ⁻⁰⁴	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	9,08x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,20x10 ⁻⁰⁴	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,09x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰

1,81x10 ⁻⁰⁵	planting Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	1,72x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO				
Eutrofização marinha (EM)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO ₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	2,71x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
6,85x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	1,86x10 ⁻⁰⁵	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,93x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	7,95x10 ⁻⁰⁶	4,47x10 ⁻⁰⁶
2,02x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	5,49x10 ⁻⁰⁷	6,35x10 ⁻⁰⁸
1,10x10 ⁻⁰¹	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,10x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Uso de recursos minerais (URM)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO ₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	2,95x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,99x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	2,36x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,43x10 ⁺⁰¹	fruit tree seedling production, for planting fruit tree	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,23x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰

5,71x10 ⁺⁰⁰	seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,69x10 ⁻⁰⁴	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,31x10 ⁻⁰²	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	9,79x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO				

Degradação da camada de ozônio (DMO)

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	6,23x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,70x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	3,55x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,56x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,22x10 ⁻⁰⁹	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,25x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,51x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
7,18x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	4,47x10 ⁻¹²	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Formação de material particulado (FMP)

<i>Contribuição (%)</i>	<i>Processo</i>	<i>Quantidade necessária</i>	<i>Unidade</i>	<i>Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))</i>	<i>Contribuição direta</i>
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	4,07x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,72x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	3,55x10 ⁻⁰⁷	0,00x10 ⁺⁰⁰

1,07x10 ⁺⁰¹	poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	4,36x10 ⁻⁰⁸	2,99x10 ⁻⁰⁸
2,03x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	8,26x10 ⁻⁰⁹	3,64x10 ⁻¹⁰
9,21x10 ⁻⁰²	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,75x10 ⁻¹⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO				

Formação de oxidantes fotoquímicos (FOF)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	4,67x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
5,22x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	2,44x10 ⁻⁰³	2,17x10 ⁻⁰³
4,68x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	2,19x10 ⁻⁰³	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,00x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	4,66x10 ⁻⁰⁵	3,83x10 ⁻⁰⁷
8,20x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	3,83x10 ⁻⁰⁶	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo- mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Acidificação terrestre (AT)

Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	1,58x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
8,81x10 ⁺⁰¹	market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	1,39x10 ⁻⁰⁸	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,01x10 ⁺⁰¹	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	1,60x10 ⁻⁰⁹	7,45x10 ⁻¹⁰
1,79x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	2,84x10 ⁻¹⁰	1,69x10 ⁻¹¹
4,32x10 ⁻⁰²	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	6,84x10 ⁻¹²	0,00x10 ⁺⁰⁰
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
Escassez de água (EA)					
Contribuição (%)	Processo	Quantidade necessária	Unidade	Resultado total (kg CO₂ eq. (longo))	Contribuição direta
1,00x10 ⁺⁰²	Laranja	1,00x10 ⁺⁰⁰	kg	-9,15x10 ⁺⁰⁰	2,37x10 ⁻⁰¹
0,00x10 ⁺⁰⁰	market for organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 organo-mineral phosphorus fertiliser, as P2O5 Cutoff, U - GLO	4,50x10 ⁻⁰²	kg	0,00x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰
2,00x10 ⁻⁰¹	market for limestone, crushed, washed limestone, crushed, washed Cutoff, U - RoW	4,50x10 ⁻⁰²	kg	-1,84x10 ⁻⁰²	0,00x10 ⁺⁰⁰
1,53x10 ⁺⁰⁰	petrol, unleaded, burned in machinery petrol, unleaded, burned in machinery Cutoff, U - GLO	1,55x10 ⁺⁰⁰	MJ	-1,40x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰
3,31x10 ⁺⁰⁰	fruit tree seedling production, for planting fruit tree seedling, for planting Cutoff, U - RoW	1,00x10 ⁻⁰²	Item(s)	-3,03x10 ⁻⁰¹	0,00x10 ⁺⁰⁰

9,75x10 ⁺⁰¹	<i>market for poultry manure, dried poultry manure, dried Cutoff, U - GLO</i>	3,35x10 ⁺⁰⁰	kg	-8,93x10 ⁺⁰⁰	0,00x10 ⁺⁰⁰

Fonte: elaborado pelo autor.

APÊNDICE 7

RELATÓRIO TÉCNICO SIMPLIFICADO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO ORGÂNICA DE LARANJA EM BURI

Este relatório apresenta, de forma simplificada e acessível, os resultados da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida aplicada à produção orgânica de laranja no município de Buri, evidenciando aspectos ambientais, econômicos e sociais com informações que permitem tomada de decisões fundamentadas para alterar ou manter as condições de produção. Com o objetivo de mensurar o desempenho da sustentabilidade da produção orgânica de laranja na região da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema.

ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

Afinal, o que é a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida?

A avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida (ASCV) é uma técnica que busca entender e medir os impactos ambientais, sociais e econômicos de um produto, desde a extração das matérias-primas até o descarte final. É como um exame completo do produto, considerando tudo que acontece antes, durante e após sua produção, visando identificar seus impactos para como torná-lo ou não sustentável.

A avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida permite visualizar os pontos fortes e fracos de um sistema produtivo de forma integrada, destacando caminhos claros para melhorar o desempenho sustentável dos produtores rurais. Com base nessas análises, é possível desenvolver práticas mais sustentáveis, proteger o meio ambiente, reduzir os custos e garantir melhores condições para os trabalhadores, beneficiando toda a sociedade.

A ASCV integra três tipos principais de avaliação:

Avaliação ambiental do ciclo de vida (ACV-ambiental)

Esta avaliação foca nos impactos ambientais gerados ao longo do ciclo de vida de um produto. Ela analisa aspectos como uso de recursos naturais (água, solo, energia); emissão de gases poluentes que contribuem para o aquecimento global; e, impactos na qualidade da água e do solo pelo uso de pesticidas e fertilizantes químicos. O objetivo da ACV-Ambiental é identificar os impactos de todas as etapas e quais são os pontos críticos.

Nesta abordagem, foram considerados o consumo de recursos naturais: água, energia e solo utilizados na produção. Emissões de poluentes: gases responsáveis pelo aquecimento global e mudanças climáticas, especialmente devido ao uso intensivo de esterco bovino. Toxicidade e ecotoxicidade: Impactos negativos dos insumos agrícolas (fertilizantes e defensivos naturais) sobre seres humanos e vida aquática. Acidificação: efeitos negativos sobre a qualidade da água e solo. Transformação de terras: avaliou se houve recuperação ou degradação das áreas utilizadas para cultivo.

Essa avaliação analisa os impactos ambientais causados pela produção. A medição segue etapas específicas, constituídas pelo inventário ambiental, na qual, são listados todos os recursos utilizados (água, energia, fertilizantes) e os poluentes emitidos (gases, resíduos químicos); avaliação de impacto, a partir do inventário, são calculados os impactos ambientais usando categorias como: mudança climática (emissões de gases que aquecem o planeta); toxicidade humana (efeitos negativos para a saúde das pessoas); ecotoxicidade (impactos sobre a vida aquática); acidificação (danos ao solo e à água); transformação de terras (recuperação ou degradação das áreas utilizadas). Esses impactos são quantificados por meio de métodos científicos padronizados internacionalmente (normas ISO 14040 e 14044).

Avaliação social do ciclo de vida (ACV-social)

A avaliação social estuda os impactos que a produção gera nas pessoas e na comunidade. Avalia questões importantes, tais como, condições de trabalho, saúde e segurança dos trabalhadores; pagamento de salários justos e respeito aos direitos trabalhistas; e, existência de trabalho infantil ou forçado. A proposta é assegurar que a produção seja ética, justa e responsável socialmente, protegendo os direitos humanos e garantindo bem-estar para as pessoas envolvidas.

Foram analisados os salários e condições de trabalho: verificação se os trabalhadores recebem salários justos e trabalham em condições seguras. Horas de trabalho: analisou-se a quantidade de horas trabalhadas para garantir que fossem adequadas e justas. Trabalho forçado: avaliou-se se havia indícios de exploração ou trabalho forçado. Saúde e segurança: avaliou-se o ambiente de trabalho, incluindo riscos de acidentes e doenças.

Essa abordagem analisa como as pessoas são afetadas pela produção, usando categorias específicas como, salário justo, que verifica se os trabalhadores recebem o suficiente para viver dignamente; horas de trabalho, a qual, analisa se as jornadas são adequadas e não excessivas; trabalho forçado, identifica se há exploração ou trabalho escravo; e, saúde e segurança, que avalia se o ambiente de trabalho é seguro e saudável.

Para medir esses impactos sociais, foram utilizados questionários específicos aplicados diretamente aos trabalhadores e produtores, seguindo diretrizes internacionais da norma ISO 14075.

Custeio do ciclo de vida (CCV)

O custeio do ciclo de vida considera todos os custos relacionados a um produto desde a produção até o descarte final. O que inclui custos de produção (materiais, mão de obra, equipamentos); custos operacionais (manutenção das instalações, energia consumida); e, custos ambientais (custos relacionados à prevenção ou reparação de danos ambientais). Com o CCV, propriedades agrícolas produtivas podem identificar os principais custos e aumentar a eficiência econômica por meio da dinamização desses custos, e mantendo a sustentabilidade financeira da produção.

Para o custeio foram considerados os custos de produção: incluem gastos com mão de obra, insumos (como fertilizantes orgânicos), e manutenção das instalações. Custos operacionais: avaliação de custos recorrentes necessários para manter o sistema produtivo funcionando adequadamente. Custos ambientais indiretos: consideração dos custos para evitar ou corrigir danos ambientais decorrentes da produção.

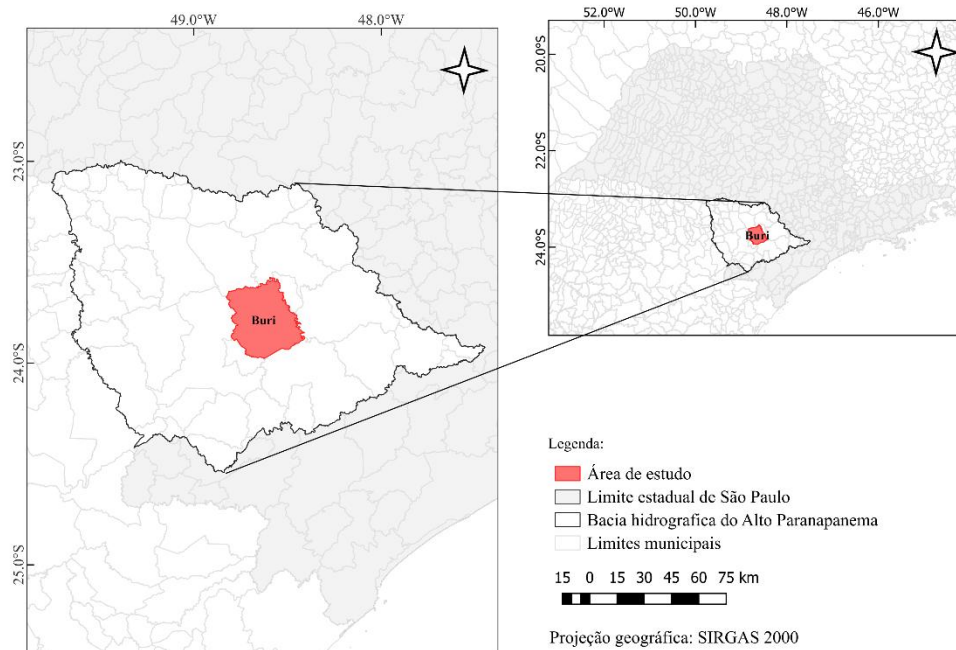
O custeio analisa todos os custos envolvidos na produção desde o início até o fim do ciclo produtivo, considerando os custos de produção: insumos agrícolas (esterco, sementes), mão de obra e equipamentos utilizados; custos operacionais: manutenção constante das instalações e da terra; custos ambientais indiretos: custos relacionados à prevenção ou correção de impactos ambientais.

A avaliação de custeio utiliza formulários específicos para coleta de dados diretamente com os produtores, a partir da estrutura de custos arquitetada pela Companhia Nacional de Abastecimento pela norma nº. 30.302, calculando todos os custos detalhadamente para entender quais são os pontos de maior gasto e possíveis oportunidades para redução de custos.

A região de estudo

A região estudada foi a Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, focando especificamente no município de Buri, localizados no interior do estado de São Paulo. A Figura 20, abaixo, elucida a localidades investigada.

Figura 20 - bacia hidrográfica do Alto Paranapanema destaque para Buri



Fonte: elaborado pelo autor.

Essa região, e principalmente o município de Buri, que a compõe é conhecido pela produção agrícola significativa, especialmente pela produção de laranja, a qual representa 26,4% da produção agrícola local.

O município, apesar de ter uma contribuição significativa do sistema convencional de laranja, possui produção orgânica, uma alternativa importante ao modelo convencional, que utiliza fertilizantes químicos e agrotóxicos. A produção orgânica se baseia no uso de métodos naturais, como esterco animal, e práticas sustentáveis que ajudam a preservar o meio ambiente.

Por ser um município com números expressivos para a produção agrícola convencional, existem desafios ambientais relacionados ao uso intensivo de insumos agrícolas, como fertilizantes químicos, que geram problemas ambientais por meio de emissões de gases do efeito estufa e contaminação das águas por excesso de nutrientes. Existe a presença de trabalho informal e dificuldades nas condições de trabalho agrícola, que envolve a exploração econômica e precariedade das condições trabalhistas. Inadequados aos padrões desejáveis pela legislação nacional vigente.

A escolha da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, especificamente em Buri, foi importante devido à sua combinação de produção agrícola intensa, presença da agricultura familiar e grande potencial para práticas sustentáveis. Avaliar a sustentabilidade do ciclo de vida da produção orgânica de laranja nessa região pode trazer benefícios no tocante a

identificação de alternativas para reduzir impactos ambientais negativos; evidenciar se há ou não necessidades de aplicação de políticas públicas eficazes para melhorar as condições sociais e econômicas dos trabalhadores rurais, combatendo informalidade e garantindo direitos trabalhistas básicos; contribuiu para ampliar o conhecimento científico e fornecer informações importantes para produtores locais e formuladores de políticas públicas sobre como tornar a produção agrícola regional mais sustentável.

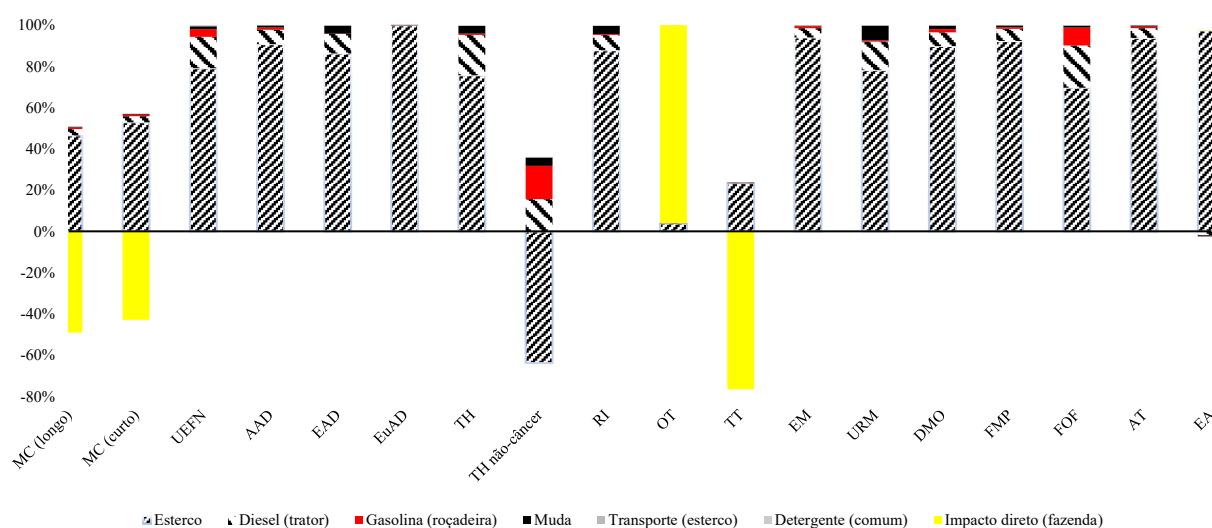
A pesquisa em Buri ajudou a identificar como os pequenos produtores podem contribuir para o desenvolvimento sustentável, mostrando caminhos práticos para reduzir os impactos negativos da agricultura e melhorar a qualidade de vida das pessoas envolvidas diretamente na produção.

RESULTADOS

Principais resultados da ACV-ambiental

Os principais resultados estão descritos no gráfico 7, elucidado abaixo.

Gráfico 7 - avaliação de impacto ambiental do produtor buriense



Fonte: elaborado pelo autor. Mudança climática - longo prazo (MC (longo)), mudança climática - curto prazo (MC (curto)), uso de energia fóssil e nuclear (UEFN), acidificação de água doce (AAD), ecotoxicidade em água doce (EAD), eutrofização de água doce (EuAD), toxicidade humana - cancerígena (TH), toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer), radiações ionizantes (RI), ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT), transformação de terras - perda de biodiversidade (TT), eutrofização marinha (EM), uso de recursos minerais (URM), degradação da camada de ozônio (DMO), formação de material particulado (FMP), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), acidificação terrestre (AT), escassez de água (EA).

A avaliação ambiental do ciclo de vida da produção orgânica de laranja mostra que, embora o cultivo seja orgânico, ainda existem impactos ambientais relevantes em diferentes etapas do processo produtivo. Entre eles, destacam-se as mudanças climáticas, especialmente no curto prazo, que apresentaram impacto de 1,32 kg CO₂ eq., maior do que no longo prazo, que foi de

0,138 kg CO₂ eq. Isso ocorre porque atividades iniciais do ciclo, como o manejo animal (376%) e o uso de diesel na agricultura (21%), geram emissões intensas de gases de efeito estufa. O uso de energia fóssil se mostrou significativo, com 23,9 MJ privados, evidenciando a dependência de combustíveis fósseis.

Nos recursos hídricos, os resultados são contrastantes. A acidificação da água doce apresentou impacto muito baixo ($3,9 \times 10^{-14}$ kg SO₂ eq.), considerado um ponto positivo. Em contrapartida, a ecotoxicidade em água doce foi elevada, com $3,19 \times 10^4$ CTUe, associada principalmente ao uso de esterco bovino (86%) e ao manejo da alimentação animal. De forma semelhante, os resultados de eutrofização mostram impactos moderados: na água doce, $2,06 \times 10^{-4}$ kg PO₄ eq., e no ambiente marinho, $4,06 \times 10^{-4}$ kg N eq., ambos ligados ao escoamento de nutrientes, como nitrogênio e fósforo.

Em relação à saúde humana, os riscos foram baixos. A toxicidade cancerígena apresentou apenas $1,50 \times 10^{-7}$ CTUh, influenciada pelo fertilizante (76%) e pelo diesel (20%). Já a toxicidade não cancerígena apresentou resultado positivo de $-6,62 \times 10^{-8}$ CTUh, indicando que a prática orgânica evita parte dos problemas associados ao uso de substâncias químicas em sistemas convencionais. Outros impactos, como radiações ionizantes, tiveram resultado moderado de 6,21 Bq C-14 eq., vinculados principalmente à matriz energética.

O uso da terra trouxe dois aspectos distintos: a ocupação de terras representou perda de biodiversidade de 7,40 m² eq.ano, já que áreas maiores são necessárias para a produção orgânica. Por outro lado, a transformação de terras apresentou resultado positivo de -1,16 m² eq., sugerindo que a diversidade de cultivos da propriedade e a presença das laranjeiras contribuem para regenerar parte do ambiente em comparação a práticas agrícolas mais intensivas.

Vale ressaltar o impacto na escassez de água, considerado elevado, com 121 m³ eq. mundial, um dos principais desafios da produção, mostrando a necessidade de estratégias mais eficientes no uso hídrico. Outros impactos, como formação de material particulado ($2,46 \times 10^{-6}$ kg PM_{2,5} eq.), formação de oxidantes fotoquímicos ($1,31 \times 10^{-2}$ kg NMVOC eq.) e acidificação terrestre ($1,06 \times 10^{-7}$ kg SO₂ eq.), foram baixos, mas ainda refletem o uso do esterco e do diesel.

De maneira geral, os resultados indicam que o fertilizante orgânico (esterco bovino) é o maior responsável pelos impactos na maioria das categorias, com contribuições superiores a 69% em quase todos os casos, seguido pelo diesel agrícola, que chega a 21% em algumas categorias. Apesar disso, o sistema apresenta pontos positivos, como a menor toxicidade para humanos e o efeito benéfico na transformação da terra. Assim, embora a produção orgânica de laranja

apresente vantagens ambientais em relação a modelos convencionais, ela ainda depende de melhorias no manejo do esterco, na redução do uso de diesel e na gestão da água para alcançar maior sustentabilidade.

Desafios ambientais encontrados

A produção orgânica demonstrou uma capacidade real de recuperação ambiental, evidenciada por valores negativos no indicador de transformação de terras, indicando uma melhoria efetiva nas áreas usadas para o cultivo.

Apesar dos benefícios, a produção orgânica enfrentou desafios ambientais importantes. O sistema orgânico ainda depende bastante da energia de fontes fósseis, devido ao uso intensivo de máquinas agrícolas e transporte. Isso aumenta os impactos negativos relacionados às mudanças climáticas. O uso intensivo de esterco bovino apresentou impactos significativos, especialmente por contribuir com altas emissões de gases que provocam o aquecimento global e elevada ecotoxicidade em águas doces.

Alternativa positiva para a produção orgânica: o esterco de galinha

O uso de esterco de galinha em Buri se mostra uma alternativa ambientalmente mais viável do que o esterco bovino para a produção orgânica de laranja. Isso é possível afirmar pois foi criado um cenário, a partir de dados da literatura, que substitui o esterco bovino por esterco de galinha em quantidades suficientes para atender as necessidades da produção orgânica.

Primeiramente, os dados de impacto demonstram reduções consistentes em categorias críticas. Para mudança climática de longo prazo, houve redução de 25% em Buri quando se substitui o esterco bovino pelo de galinha, enquanto para o curto prazo essa redução foi de 28%, evidenciando menor emissão de gases de efeito estufa. No caso do uso de energia fóssil, a redução chegou a 12,5%, refletindo menor dependência de combustíveis fósseis. A acidificação da água doce também apresentou queda de 25%, e a ecotoxicidade em água doce teve diminuição de 10%, indicando menor risco de contaminação dos corpos hídricos.

Outro ponto importante está na eutrofização de água doce, que foi 21% menor no cenário com esterco de galinha, devido à menor lixiviação de fósforo e redução da dependência de fertilizantes sintéticos associados ao manejo animal bovino. Em relação à toxicidade humana cancerígena, a redução foi de 18%, enquanto para a toxicidade não cancerígena a queda chegou

a 11%. Já nas radiações ionizantes, os impactos foram 13% menores, reforçando a tendência de benefícios ambientais mais amplos.

Na dimensão do uso da terra, o esterco de galinha contribuiu para uma redução de 27% na ocupação de terras e apresentou impactos negativos para a transformação de terras (-1,66 m² eq.), o que indica efeito regenerativo e ganho de biodiversidade. A eutrofização marinha também se mostrou significativamente menor, com o esterco bovino sendo até 79% mais impactante que o esterco de aves.

Categorias adicionais reforçam essa vantagem: o uso de recursos minerais foi reduzido em 33%, a degradação da camada de ozônio em 8%, a formação de material particulado em 15%, a formação de oxidantes fotoquímicos em 17%, e a acidificação terrestre em 5%. Por fim, a escassez de água teve um resultado particularmente positivo, com valores negativos (-16,8 m³ eq. mundial), indicando 23% de redução do impacto hídrico, um diferencial importante considerando o elevado consumo de água da pecuária bovina.

O esterco de galinha em Buri reduz impactos em 14 das 18 categorias de impacto avaliadas, com reduções percentuais variando de 10% a 79%. Isso evidencia que, além de manter a fertilidade do solo e suprir nutrientes essenciais, sua aplicação gera benefícios ambientais diretos, reduzindo emissões, consumo de energia, contaminação hídrica e pressão sobre recursos naturais. Assim, o uso de esterco de galinha se configura como uma alternativa concreta e sustentável para substituir o esterco bovino, fortalecendo a transição da agricultura regional para modelos de baixa emissão de carbono e menor consumo de água.

Principais resultados da ACV-social

A avaliação de impacto social do ciclo de vida da produção orgânica em Buri, considerando a perspectiva do trabalhador, revelou fragilidades significativas nas condições laborais. A Tabela 26, relata os impactos sociais alcançados pela propriedade.

Tabela 26 - impactos sociais na produção orgânica de Buri

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Resultados</i>	<i>Justificativa</i>
Salário justo	Trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno	-1 (salário menor que R\$ 1.550,00 ou sem dados sobre salário do funcionário)	O trabalhador recebe menos que o salário-mínimo vigente
	Presença de deduções suspeitas nos salários	-1 (houve deduções nos salários dos trabalhadores sem justificativa legal ou não soube informar se já houve dedução no salário do trabalhador)	Identificada a intenção de deduzir do 13º mês de salário do empregado

	Pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal)	-1 (pagamento irregular, sem registro em carteira ou sem informações sobre a regularidade dos pagamentos e registro em carteira)	Ausência de registro de emprego formal e qualquer outra documentação que formalize a relação de trabalho
Hora de trabalho	Número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados	0 (44 horas semanais ou 240 horas mensais)	O trabalhador trabalhava 8 horas de segunda a sexta-feira e 4 horas aos sábados
	Número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados	0 (aproveita somente as comemorações de fim de ano)	Não havia trabalho realizado em feriados
	Respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras	-1 (não há pagamento de horas extras e banco de horas para descontar ou sem dados a respeito dos acordos contratuais referentes a hora extra)	Não há registros formais ou informações claras sobre pagamento ou acompanhamento de horas extras
	A organização oferece flexibilidade	-1 (a empresa rural não oferece flexibilidade ou sem dados sobre a oferta de flexibilidade)	Exigir que o trabalhador compense as horas gastas na obtenção de documentos é irregular
Trabalho forçado	Os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo	-1 (não há anuência expressa com os termos do trabalho ou sem dados sobre o contrato de trabalho)	Não havia contrato de trabalho formal com o empregado
	Certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego	0 (não há retenção de documentos pessoais)	Nenhum documento pertencente ao trabalhador foi retido
	Os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes	-1 (os trabalhadores não podem pedir demissão ou sem dados a respeito da possibilidade de pedido de demissão)	Embora o trabalhador tenha se demitido, havia uma relação de subordinação vinculada a uma dívida com o empregador
	Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador	-1 (Os trabalhadores estão vinculados em virtude de dívidas ou sem dados sobre a vinculação por dívidas)	O trabalhador estava vinculado a uma dívida contraída com o empregador para cobrir as despesas de viagem de seu país de origem para o Brasil
Saúde e segurança	Número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização	+1 (não há nenhum acidente fatal registrado pela empresa agrícola além de constante capacitação para uso dos equipamentos de proteção individual)	Não há acidentes de trabalho registrados na fazenda
	Presença de regras referente à saúde e segurança	-1 (não há regras para a saúde e segurança do trabalhador ou sem dados sobre regras referentes a saúde e segurança dos trabalhadores)	Não há regras ou instruções sistemáticas do empregador sobre segurança do trabalho

Equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis	0 (há equipamentos de proteção individual, mas seu uso não é exigido)	Equipamentos de proteção individual foram fornecidos, mas não há informações sobre se os equipamentos fornecidos eram adequados para todos os riscos identificados

Na subcategoria salário justo, todos os indicadores apresentaram resultados negativos. O menor salário pago foi de R\$ 1.400,00, inferior ao salário-mínimo estadual de R\$ 1.550,00, ainda que o empregador tenha oferecido benefícios como moradia e cesta básica. Além disso, não havia registro formal em carteira, o que configura descumprimento da legislação trabalhista, e foi identificada a intenção de realizar deduções indevidas no salário, como o custo da viagem do trabalhador, caracterizando práticas exploratórias.

Quanto à hora de trabalho, dois indicadores – jornada de 44 horas semanais e respeito aos feriados, estavam em conformidade, mas sem gerar impacto positivo, apenas neutro. Já o respeito aos acordos contratuais sobre horas extras e a oferta de flexibilidade tiveram resultados negativos, pois não havia registros formais de horas extras nem regras claras para sua compensação, além da exigência de que o trabalhador compensasse horas gastas para resolver questões burocráticas.

Na subcategoria trabalho forçado, os impactos também foram críticos. Não havia contrato formal de trabalho, ferindo direitos básicos, e o trabalhador estava vinculado a uma dívida com o empregador, referente aos custos de sua vinda ao Brasil, o que reduzia sua autonomia e configurava situação de vulnerabilidade econômica. Embora não tenha havido retenção de documentos, o vínculo por dívida reforça uma prática próxima à servidão, agravada pela condição de estrangeiro do trabalhador.

Em relação à saúde e segurança, foi identificado um ponto positivo: não houve registro de acidentes ou lesões no trabalho. Contudo, não existiam regras formais de prevenção nem programas estruturados de segurança, o que compromete a proteção efetiva do trabalhador. Além disso, os equipamentos de proteção individual foram fornecidos, mas sem garantia de adequação a todos os riscos e sem evidências de treinamentos específicos, resultando em avaliação parcial.

De forma geral, a análise social mostra que, apesar de algumas conformidades pontuais, os impactos sociais da produção são predominantemente negativos, especialmente em relação à formalização do vínculo empregatício, remuneração adequada, prevenção de práticas análogas ao trabalho forçado e garantia de condições de saúde e segurança. Esses resultados evidenciam a necessidade urgente de regularização trabalhista e fortalecimento das práticas de responsabilidade social para assegurar condições dignas e justas aos trabalhadores.

Alternativa positiva

Para mitigar esses problemas sociais, foram identificadas que a regularização trabalhista é essencial para formalizar as condições de trabalho, garantindo contratos claros e acesso aos direitos trabalhistas estabelecidos por lei. Políticas públicas eficazes precisam ser implementadas para assegurar a formalização do trabalho rural. Melhoria das condições de trabalho, nesse sentido, investir em treinamentos e equipamentos adequados para melhorar a ergonomia e reduzir os riscos físicos e psicológicos enfrentados pelos trabalhadores é necessário. E pagamentos por serviços ambientais, pois a implementação de incentivos financeiros por meio de pagamentos por serviços ecossistêmicos ou créditos de carbono pode melhorar as condições econômicas das propriedades e permitir que melhores condições trabalhistas sejam viabilizadas economicamente.

Principais resultados para a CCV

O CCV examinou todos os gastos envolvidos na produção da laranja orgânica, desde a preparação da terra até a colheita e distribuição, contemplando mão de obra, insumos, manutenção, transporte, entre outros. Observou-se que os custos operacionais são consideravelmente elevados. A Tabela 27 evidencia os dados do custeio do ciclo de vida.

Tabela 27 - custeio do ciclo de vida para a produção buriense de laranja

<i>Tipo de custo</i>	<i>Detalhamento</i>	<i>Valores para a área de cultivo</i>
Despesas do custeio	Operação com animal	0,0000
	Operação com avião	0,0000
	Operação com máquinas: tratores e colheitadeiras; conjunto de irrigação	51,3675
	Aluguel de máquinas	0,0000
	Aluguel de animais	0,0000
	Mão de obra	9,3442
	Administrador	0,0000
	Sementes e mudas	100,0000
	Fertilizantes	80,0000
	Agrotóxicos	0,0000
	Receita	-90,0000
	Outros: embalagens/utensílios, análise de solo, demais despesas	607,1241
	Serviços diversos	81,0917
Total das despesas de custeio (A)		918,9275
Outras despesas	Transporte externo	50,0000
	Despesas administrativas	34,5138
	Despesas de armazenagem	0,0000
	Beneficiamento	0,0000
	Seguro da produção	0,0000
	Seguro do crédito	0,0000
	Assistência técnica	0,0000
	Classificação	0,0000
	Outros (certificado orgânico)	0,0000

	Contribuição especial para a seguridade social rural	112,4955
Total das outras despesas (B)		197,0093
Despesas financeiras	Juros do financiamento	0,0000
Total das despesas financeiras (C)		0,0000
Custo variável (A+B+C=D)		1.115,9368
Depreciações	Depreciação de benfeitorias/instalações	895,8120
	Depreciação de implementos	0,00000
	Depreciação de máquinas	78,1267
	Exaustão do cultivo	13,3973
Total das depreciações (E)		987,3360
Outros custos fixos	Manutenção periódica benfeitorias/instalações	6.645,8333
	Encargos sociais	0,0000
	Seguro do capital fixo	0,5040
	Arrendamento	0,0000
Total dos outros custos fixos (F)		6.646,3373
Custo fixo (E+F=G)		7.633,6733
Custo operacional (D+G=H)		8.749,6101
Renda de fatores	Remuneração esperada sobre o capital fixo	10,5785
	Remuneração esperada sobre o cultivo	0,5225
	Terra própria	5.850,0000
Total da renda de fatores		5.861,1010
TOTAL CUSTEIO		14.610,7112

A análise do custeio do ciclo de vida da produção de laranja orgânica mostra que as despesas de custeio atingem R\$ 918,93 por área, com destaque para sementes e mudas (R\$ 100,00), fertilizantes (R\$ 80,00), receita estrutural (R\$ 90,00) e especialmente a subcategoria outros com R\$ 607,12, que concentra a maior parte do valor, vinculada a embalagens, análise de solo e despesas diversas. Além disso, serviços diversos somam R\$ 81,09, representando um peso significativo dentro da categoria.

As outras despesas totalizam R\$ 197,01, com três componentes principais: transporte externo (R\$ 50,00), despesas administrativas (R\$ 34,51) e, sobretudo, a contribuição especial para a seguridade social rural (R\$ 112,50), que sozinha corresponde a 57% dessa categoria.

Não foram identificadas despesas financeiras, pois não há financiamento atrelado à produção. Dessa forma, o custo variável resulta em R\$ 1.115,94, composto em 82% pelas despesas de custeio e 18% pelas demais despesas.

Os custos fixos são dominados pelas depreciações de benfeitorias e instalações (R\$ 895,81), somadas às depreciações de máquinas (R\$ 78,13) e exaustão do cultivo (R\$ 13,40), totalizando R\$ 987,34. Além disso, os outros custos fixos alcançam R\$ 6.646,34, sendo quase integralmente relacionados à manutenção periódica de benfeitorias e instalações (R\$ 6.645,83). Somando-se essas parcelas, os custos fixos atingem R\$ 7.633,67.

Assim, o custo operacional chega a R\$ 8.749,61, e quando acrescida a renda dos fatores (R\$ 5.861,10), composta por remuneração esperada sobre o capital fixo (R\$ 10,58), sobre o cultivo (R\$ 0,52) e principalmente pela terra própria (R\$ 5.850,00), o custo total atinge R\$ 14.610,71.

O principal contribuinte para os custos é a manutenção periódica das benfeitorias/instalações, responsável por quase todo o valor dentro dos outros custos fixos. Isso reflete a necessidade de considerar a manutenção preventiva como um custo estrutural estratégico, já que pequenos investimentos nessa área evitam falhas inesperadas e custos maiores no futuro.

Desafios econômicos encontrados

Dentre os impactos mais significativos, destacam-se a dificuldade de equilibrar receitas e despesas, pois o preço da laranja orgânica precisa cobrir esses custos elevados sem perder mercado para o sistema convencional. Além disso, a dependência de insumos orgânicos, como esterco bovino, também envolve riscos de variações de preço e disponibilidade, afetando o planejamento financeiro.

Alternativas viáveis

Como alternativas viáveis para reduzir esses custos e melhorar a sustentabilidade econômica, apontamos que pagamentos por serviços ecossistêmicos e créditos de carbono, são opções que contribuem para valorização da produção e maior escala, por conta dos benefícios ambientais gerados (sequestro de carbono, proteção da biodiversidade), pode-se buscar remuneração adicional junto a programas de pagamento por serviços ambientais, certificações e mercado de créditos de carbono. O uso de esterco de galinha em lugar do bovino mostrou reduções expressivas em impactos ambientais e pode ajudar a diminuir certos custos, pois reduz o risco de contaminação e, em algumas regiões, o esterco aviário tende a ter preço e logística mais vantajosos. Melhorias na gestão e na escala de produção, uma vez que, parcerias entre pequenos produtores, formação de cooperativas e compartilhamento de recursos para ampliar o volume de produção e barganhar preços de insumos, além de buscar assistência técnica especializada, ajudam a planejar melhor as finanças. E, linhas de financiamento específicas com políticas públicas que incentivem produções orgânicas com juros mais baixos e prazos de pagamento mais adequados podem contribuir bastante para a viabilidade econômica e para a expansão dessas práticas sustentáveis.

O bolso do produtor enfrenta desafios com gastos altos em manutenção, terra e insumos, mas há saídas promissoras: buscar dinheiro extra por gerar serviços ambientais, trocar ou otimizar o tipo de adubo, juntar produtores para comprar e vender em conjunto, além de convencer governos a incentivar esse modo de cultivo. Dessa forma, apesar de os custos serem elevados,

há caminhos para tornar a produção orgânica de laranja mais acessível e rentável, mantendo o compromisso com o meio ambiente e a sociedade.

CONCLUSÕES

A pesquisa avaliou a sustentabilidade da produção orgânica de laranja em Buri, no estado de São Paulo, por meio da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida. Essa técnica permite uma análise detalhada dos impactos ambientais, econômicos e sociais associados a todo o processo produtivo, desde o plantio até a colheita.

Os resultados demonstraram vantagens ambientais importantes da produção orgânica em relação à convencional. Entre os principais benefícios, destacam-se a redução significativa da toxicidade para humanos, menor acidificação dos solos e das águas, além da recuperação de áreas que antes estavam degradadas. No entanto, também foram identificados desafios importantes, como a alta dependência energética, especialmente de fontes fósseis, e o impacto ambiental negativo devido ao uso intensivo de esterco bovino. Uma solução promissora apontada pelo estudo é substituir o esterco bovino por esterco de galinha, o que pode reduzir consideravelmente esses impactos negativos, contribuindo para uma produção ainda mais sustentável.

Economicamente, as produções orgânicas enfrentam desafios importantes devido aos elevados custos operacionais, especialmente relacionados à manutenção preventiva das instalações e ao custo de oportunidade das terras utilizadas. Esses fatores dificultam o ganho econômico para pequenos produtores, devido à falta de financiamento específico e à escala limitada de produção. Para superar esses desafios, são sugeridas estratégias como a implementação de pagamentos por serviços ambientais e a comercialização de créditos de carbono, que podem tornar a produção economicamente mais viável.

No aspecto social, os resultados revelaram questões preocupantes, na qual práticas trabalhistas informais e condições precárias foram identificadas, incluindo exploração econômica de trabalhadores migrantes. Esses resultados mostram que a sustentabilidade da produção orgânica não está apenas relacionada a fatores ambientais, mas também à necessidade urgente de melhorias nas condições trabalhistas, com a formalização e garantia dos direitos dos trabalhadores rurais.

Para o futuro, é essencial o desenvolvimento e implementação de políticas públicas eficazes que apoiem os pequenos produtores, incentivando práticas mais sustentáveis, oferecendo suporte financeiro e promovendo condições dignas de trabalho. A pesquisa destaca a

importância da conscientização de produtores, consumidores e formuladores de políticas sobre a relevância da sustentabilidade integrada, visando uma produção orgânica realmente sustentável em todos os sentidos: ambiental, econômico e social.

APÊNDICE 8

RELATÓRIO TÉCNICO SIMPLIFICADO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO ORGÂNICA DE LARANJA EM ITAPETININGA

Este relatório apresenta, de maneira clara e acessível, os principais resultados da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida aplicada à produção orgânica de laranja no município de Itapetininga. O estudo contempla as dimensões ambiental, econômica e social, fornecendo um conjunto de informações que subsidiam a tomada de decisões estratégicas, seja para a manutenção das práticas atuais, seja para a introdução de melhorias no processo produtivo. O propósito central é mensurar, de forma integrada, o desempenho sustentável da produção orgânica de laranja na região da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, contribuindo para a consolidação de um modelo agrícola que equilibre produtividade, responsabilidade socioambiental e viabilidade econômica.

ASPECTOS INTRODUTÓRIOS

Afinal, o que é a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida?

A Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) é uma técnica que busca compreender e mensurar, de forma integrada, os impactos ambientais, sociais e econômicos de um produto ou sistema, abrangendo todas as etapas desde a extração das matérias-primas até o descarte final. Trata-se de uma análise sistêmica e abrangente, comparável a um exame completo, que considera o que ocorre durante a produção, e os efeitos antes e depois dela. O objetivo é identificar de maneira consistente como um produto ou processo pode, ou não, ser considerado sustentável ao longo de todo o seu ciclo.

A ASCV permite a integração entre diferentes dimensões da sustentabilidade, superando análises fragmentadas. Ao evidenciar tanto pontos fortes quanto fragilidades de um sistema produtivo, a técnica fornece uma visão clara das compensações existentes e ajuda a evitar escolhas equivocadas ou deslocamentos de impacto entre os pilares ambiental, social e econômico.

Com base nessas análises, a ASCV se configura como uma ferramenta estratégica para a tomada de decisão fundamentada, apontando caminhos para a adoção de práticas mais sustentáveis. Isso significa apoiar agricultores e produtores na redução de custos, na melhoria das condições de trabalho, na proteção dos recursos naturais e na valorização da viabilidade econômica de

longo prazo. Ao mesmo tempo, oferece informações úteis para governos, empresas e sociedade civil, fortalecendo a transição para modelos produtivos com menores impactos ambientais, ganhos econômicos relevantes e condições dignas de trabalho.

A ASCV integra três tipos principais de avaliação:

Avaliação ambiental do ciclo de vida (ACV-ambiental)

A ACV-ambiental concentra-se nos impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, desde a extração de matérias-primas até sua disposição final. Essa técnica examina aspectos fundamentais como o uso de recursos naturais, água, solo e energia, a emissão de gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global, bem como os impactos na qualidade da água e do solo resultantes do uso de fertilizantes e insumos agrícolas. O objetivo central é identificar de maneira sistemática quais etapas do processo produtivo concentram os maiores impactos ambientais, permitindo assim reconhecer pontos críticos e orientar estratégias de mitigação.

No presente relatório, foram considerados elementos essenciais: o consumo de recursos naturais (água, energia e solo); as emissões de poluentes atmosféricos, em especial gases relacionados às mudanças climáticas, fortemente associados ao uso intensivo de esterco bovino; os efeitos de toxicidade e ecotoxicidade, que abrangem os impactos dos insumos agrícolas (como fertilizantes e defensivos naturais) sobre a saúde humana e sobre os ecossistemas aquáticos; a acidificação, entendida como os danos potenciais à qualidade do solo e da água; e, por fim, a transformação de terras, que avalia se o uso agrícola resultou em degradação ambiental ou, ao contrário, em processos de recuperação.

A condução da ACV-ambiental segue método estruturado e reconhecido internacionalmente. Primeiramente, se estabelece os objetivos e escopos do estudo, procurando evidenciar a qual fim a ACV-ambiental pretende culminar, quais são as bases de dados consideradas, o fluxo de referência e a unidade funcional, em seguida realiza-se o inventário ambiental, no qual são listados de forma detalhada todos os recursos empregados, como água, energia e fertilizantes e os poluentes gerados, incluindo gases e resíduos químicos. A etapa seguinte consiste na avaliação de impactos ambientais, em que os dados do inventário são interpretados por meio de categorias específicas, como mudança climática (emissões que intensificam o aquecimento global), toxicidade humana (riscos à saúde das pessoas), ecotoxicidade (efeitos sobre organismos aquáticos), acidificação (alterações prejudiciais ao solo e à água) e transformação

de terras (potencial regeneração ou degradação dos ambientes cultivados). E é realizada a interpretação para identificação dos principais pontos críticos, podendo ainda ser realizada a criação de cenários por meio da sensibilidade.

A quantificação desses impactos é realizada por meio de métodos científicos padronizados, estabelecidos nas normas ISO 14040 e 14044, que garantem comparabilidade, transparência e rigor científico. Dessa forma, a ACV-ambiental permite compreender de forma integrada os efeitos de cada etapa produtiva sobre o meio ambiente, e oferece um suporte técnico consistente para a tomada de decisões que visem à transição para sistemas produtivos mais sustentáveis.

Custeio do ciclo de vida (CCV)

O CCV busca contabilizar todos os custos associados a um produto ao longo de sua existência, desde a fase de produção até o descarte final. Essa perspectiva permite identificar os custos diretos de produção, como insumos, mão de obra e uso de máquinas, bem como os custos operacionais recorrentes, ligados à manutenção das instalações, consumo de energia e gestão da infraestrutura produtiva, e os custos ambientais, que se referem às despesas destinadas à prevenção, mitigação ou reparação de danos ambientais decorrentes do processo produtivo. Dessa forma, o CCV fornece uma visão ampliada e estratégica, essencial para garantir tanto a eficiência econômica quanto a sustentabilidade financeira das propriedades agrícolas.

Na prática, o custeio é estruturado a partir de três grandes blocos. Primeiro, os custos de produção, que incluem mão de obra, fertilizantes orgânicos, sementes e manutenção das instalações agrícolas. Em seguida, os custos operacionais, que abarcam os gastos constantes e indispensáveis para o funcionamento da unidade produtiva, como manutenção de equipamentos, irrigação e tratamentos culturais. E ainda, os custos ambientais indiretos, representados por investimentos em tecnologias e práticas que previnem impactos negativos, como degradação do solo ou contaminação da água, e por medidas corretivas, quando necessárias.

A Norma Conab nº 30.302 oferece uma estrutura metodológica para calcular o custo de produção agrícola, considerando tanto os custos explícitos (desembolsos efetivos, como salários e aquisição de insumos) quanto os implícitos (como depreciações e custos de oportunidade). Essa norma organiza o cálculo em categorias como despesas de custeio (máquinas, insumos e colheita), outras despesas (transporte, assistência técnica, impostos), despesas financeiras (juros de financiamento), depreciações (benfeitorias, máquinas, cultivo), outros custos fixos (manutenção periódica e seguros) e renda de fatores (terra e capital fixo). Essa abordagem assegura maior transparência na alocação dos gastos e fornece subsídios

robustos para decisões de gestão, formulação de políticas públicas e planejamento de investimentos.

Assim, o CCV aplicado à agricultura constitui uma ferramenta analítica que revela os pontos de maior peso econômico, permitindo identificar oportunidades de redução de custos e de aumento da eficiência. Ao integrar aspectos econômicos e ambientais, ele fortalece a sustentabilidade financeira da produção agrícola e contribui para a adoção de práticas produtivas mais resilientes, alinhadas às demandas sociais e ambientais contemporâneas.

Avaliação social do ciclo de vida (ACV-social)

A avaliação social do ciclo de vida busca compreender de forma sistemática os impactos que a produção exerce sobre as pessoas e as comunidades ao longo de todas as etapas do ciclo de vida de um produto. Essa análise considera dimensões centrais como condições de trabalho, saúde e segurança dos trabalhadores, pagamento de salários justos, respeito aos direitos trabalhistas, além da identificação de práticas abusivas, como trabalho infantil ou forçado. Seu propósito fundamental é assegurar que os processos produtivos sejam conduzidos de maneira ética, justa e socialmente responsável, protegendo direitos humanos e promovendo bem-estar social.

No presente relatório, foram analisadas dimensões salários e condições de trabalho, verificando se a remuneração é compatível com um padrão de vida digno e se o ambiente laboral oferece condições seguras. Também foram examinadas as horas de trabalho, a fim de avaliar se a jornada é adequada e compatível com a legislação. A investigação incluiu ainda a verificação da existência de práticas de trabalho forçado, avaliando indícios de exploração ou restrição de liberdade. A saúde e segurança foram abordadas, observando a ocorrência de riscos ocupacionais, acidentes ou exposição a ambientes insalubres.

Essa abordagem segue as diretrizes internacionais da ISO 14075, que estruturam a avaliação social do ciclo de vida em quatro fases: definição de objetivo e escopo, inventário social, avaliação de impactos sociais e interpretação dos resultados. Os impactos são organizados em categorias específicas, como salário justo, horas de trabalho, trabalho forçado e saúde e segurança, e associados às partes interessadas mais relevantes, como trabalhadores, comunidades locais e a sociedade. A metodologia prevê a aplicação de escalas de referência para mensurar o desempenho social, permitindo classificar situações em níveis que vão desde a conformidade plena até cenários de risco social significativo.

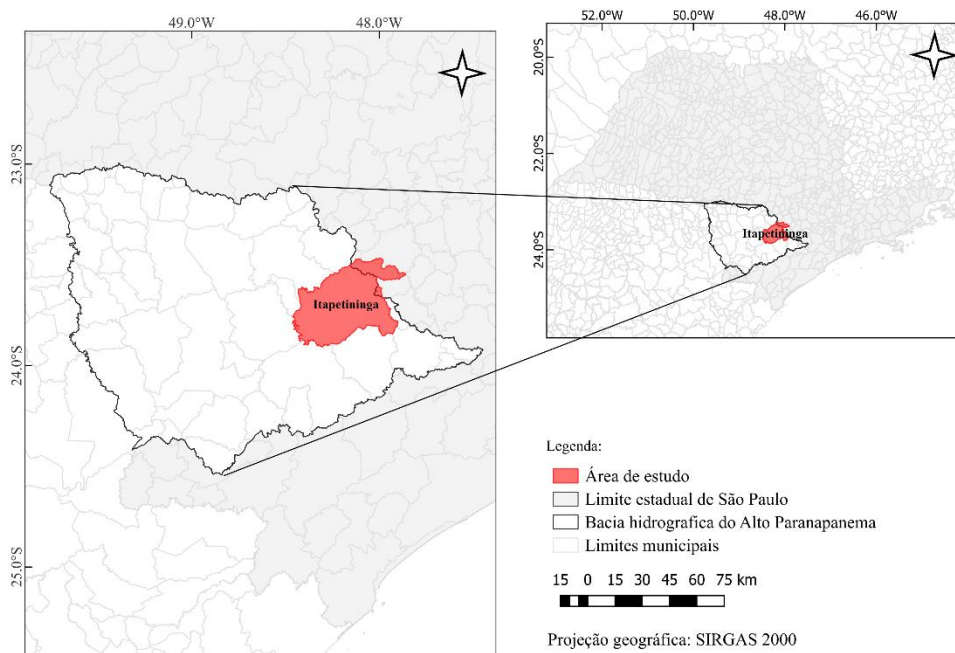
Para coleta de dados, foram aplicados questionários específicos a trabalhadores e produtores, contemplando informações qualitativas, quantitativas e semiquantitativas, em linha com as

recomendações normativas. A análise, portanto, não se limita a identificar violações, mas também busca apontar caminhos para a mitigação de riscos sociais, fortalecendo a responsabilidade social dos sistemas produtivos e oferecendo subsídios para práticas mais justas e sustentáveis.

A região de estudo

A área de estudo corresponde à bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, com ênfase no município de Itapetininga, situado no interior do estado de São Paulo. Essa localidade foi selecionada por sua relevância na dinâmica agrícola regional. A Figura 21, apresentada a seguir, ilustra a área investigada.

Figura 21 - bacia hidrográfica do Alto Paranapanema ênfase em Itapetininga



Fonte: elaborado pelo autor.

Essa região, e em especial o município de Itapetininga, destaca-se pela relevância de sua produção agrícola, com ênfase para a cultura da laranja, que representa cerca de 30,4% da produção agrícola local. Embora a maior parte dessa produção ainda esteja vinculada ao modelo convencional, baseado no uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos, o município abriga áreas de produção orgânica, que surgem como alternativa ao modelo tradicional. Nesse sistema, são empregados insumos naturais, como esterco animal, aliados a práticas de manejo sustentável que contribuem para a preservação dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais.

Apesar de sua expressiva representatividade na agricultura convencional, Itapetininga enfrenta desafios ambientais significativos, sobretudo pelo uso intensivo de insumos químicos. Entre os principais problemas estão as emissões de gases de efeito estufa e a contaminação de corpos d'água pelo excesso de nutrientes, consequências diretas desse modelo de produção. No campo social, a região também apresenta fragilidades, como a presença de trabalho informal, situações de exploração econômica e condições laborais precárias, frequentemente em desacordo com os padrões exigidos pela legislação trabalhista vigente.

A escolha da bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, tendo Itapetininga como recorte territorial central, mostra-se relevante justamente por essa combinação de produção agrícola intensa, presença da agricultura familiar e potencial para expansão de práticas sustentáveis. Avaliar a sustentabilidade do ciclo de vida da produção orgânica de laranja nesse contexto é fundamental para identificar alternativas que reduzam impactos ambientais negativos, além de evidenciar a necessidade ou não, de políticas públicas mais eficazes que melhorem as condições sociais e econômicas dos trabalhadores, combatendo a informalidade e garantindo direitos trabalhistas básicos. Essa análise contribui para ampliar o conhecimento científico e fornecer subsídios práticos tanto para produtores locais quanto para formuladores de políticas públicas, no sentido de promover uma agricultura regional mais equilibrada e sustentável.

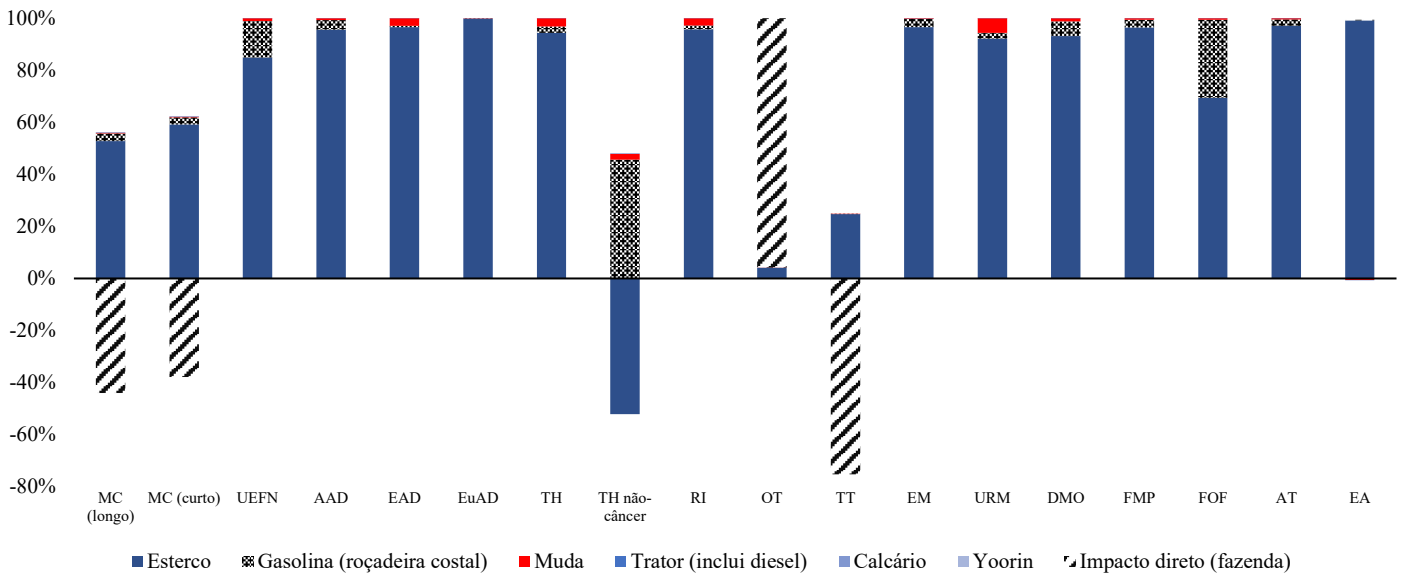
A pesquisa em Itapetininga permitiu compreender como os pequenos produtores podem se tornar atores centrais no avanço do desenvolvimento sustentável, indicando caminhos viáveis para a redução de impactos negativos da agricultura e para a melhoria da qualidade de vida das populações diretamente envolvidas na produção.

RESULTADOS

Principais resultados da ACV-ambiental

Os principais resultados estão descritos no Gráfico 8, elucidado abaixo.

Gráfico 8 - avaliação de impacto ambiental do produtor itapetiningano



Fonte: elaborado pelo autor. Mudança climática - longo prazo (MC (longo)), mudança climática - curto prazo (MC (curto)), uso de energia fóssil e nuclear (UEFN), acidificação de água doce (AAD), ecotoxicidade em água doce (EAD), eutrofização de água doce (EuAD), toxicidade humana - cancerígena (TH), toxicidade humana - não-cancerígena (TH não-câncer), radiações ionizantes (RI), ocupação de terras - perda de biodiversidade (OT), transformação de terras - perda de biodiversidade (TT), eutrofização marinha (EM), uso de recursos minerais (URM), degradação da camada de ozônio (DMO), formação de material particulado (FMP), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), acidificação terrestre (AT), escassez de água (EA).

A avaliação ambiental do ciclo de vida da produção orgânica de laranja em Itapetininga revelou impactos distribuídos em diversas categorias, destacando pontos críticos e benefícios associados ao manejo adotado.

No caso da mudança climática, os resultados mostram emissões de $5,36 \times 10^{-1}$ kg CO₂ eq. a longo prazo e $1,26 \times 10^0$ kg CO₂ eq. a curto prazo, evidenciando maior contribuição dos gases de efeito estufa de curta duração, como metano e óxido nitroso, associados ao uso de esterco bovino. Esses valores indicam que, embora a produção orgânica reduza parte das emissões, ainda há dependência de práticas que impactam o aquecimento global. O uso de energia fóssil e nuclear (UEFN) alcançou $1,38 \times 10^1$ MJ privados, um dos impactos mais expressivos, demonstrando forte dependência de combustíveis fósseis no sistema produtivo.

Os impactos relacionados à qualidade da água apresentaram contrastes: a acidificação de água doce ($2,29 \times 10^{-14}$ MJ privados) foi praticamente insignificante, refletindo ausência de fertilizantes sintéticos; por outro lado, a ecotoxicidade em água doce apresentou valor crítico de $1,76 \times 10^4$ CTUe, consequência do uso de esterco bovino e insumos associados à alimentação animal, que podem liberar pesticidas e metais pesados no solo e na água. A eutrofização de água doce ($1,27 \times 10^{-4}$ kg PO₄ eq.) mostrou impacto baixo, indicando controle da lixiviação de fósforo.

No que se refere à toxicidade humana, o risco cancerígeno foi baixo ($7,43 \times 10^{-8}$ CTUh), reforçando a segurança da produção, enquanto a toxicidade não-cancerígena resultou em valor negativo ($-7,62 \times 10^{-9}$ CTUh), representando um benefício ambiental devido à ausência de agrotóxicos e à redução de poluentes. Já as radiações ionizantes registraram impacto moderado ($3,53 \times 10^0$ Bq C-14 eq.) associado ao uso de fertilizantes minerais e combustíveis fósseis.

A análise da terra mostra uma pressão de $4,23 \times 10^0$ m² eq.ano de ocupação de áreas agrícolas, por outro lado, houve ganho ambiental na transformação de terras ($-6,36 \times 10^{-1}$ m² eq.), sugerindo regeneração parcial de áreas devido à introdução de laranjeiras.

Outras categorias apresentaram valores baixos: eutrofização marinha ($2,44 \times 10^{-4}$ kg N eq.), uso de recursos minerais ($7,51 \times 10^{-3}$ kg privados), degradação da camada de ozônio ($3,89 \times 10^{-8}$ kg CFC-11 eq.), formação de material particulado ($1,45 \times 10^{-6}$ kg PM_{2,5} eq.), oxidantes fotoquímicos ($8,14 \times 10^{-3}$ kg NMVOC eq.) e acidificação terrestre ($6,32 \times 10^{-8}$ kg SO₂ eq.), confirmando que a produção orgânica reduz significativamente esses impactos.

A escassez de água destacou-se negativamente, com $7,65 \times 10^1$ m³ eq. mundial, associada principalmente à irrigação e ao ciclo de produção do esterco bovino, reforçando que a pressão sobre recursos hídricos é um dos pontos mais críticos do sistema.

A avaliação indica que o esterco bovino é o principal contribuinte da maioria dos impactos, respondendo por mais de 69% em várias categorias e superando 95% em casos como eutrofização, acidificação e ecotoxicidade em água doce. Em categorias como toxicidade não-cancerígena e transformação de terras, os resultados negativos mostram benefícios ambientais que compensam impactos de outras etapas.

Desafios ambientais encontrados

A produção orgânica apresentou avanços relevantes, como a recuperação parcial de áreas utilizadas para o cultivo, evidenciada por valores negativos na categoria de impacto de transformação de terras. Contudo, foram identificados desafios ambientais significativos. O sistema ainda mantém forte dependência de combustíveis fósseis, em função do uso de maquinário agrícola, o que amplia os impactos ligados às mudanças climáticas. Além disso, o uso intensivo de esterco bovino se destacou como o principal responsável por emissões de curto prazo, associadas ao metano e óxido nitroso, além de contribuir para elevada ecotoxicidade em águas doces e acentuar a pressão sobre a disponibilidade hídrica regional. Esses resultados evidenciam que, embora a produção orgânica reduza o uso de insumos sintéticos e minimize

certos impactos ambientais, ainda enfrenta barreiras críticas para alcançar maior sustentabilidade.

O esterco de galinha como alternativa de menor impacto ambiental

O uso do esterco de galinha em Itapetininga mostrou-se uma alternativa ambientalmente viável e consistente para substituir o esterco bovino, reduzindo impactos em diversas categorias avaliadas.

Na categoria mudança climática - longo prazo, o uso do esterco de aves reduziu em cerca de 30% as emissões de gases de efeito estufa em comparação ao esterco bovino, enquanto para a mudança climática - curto prazo a redução foi ainda maior, chegando a 35%, resultado atribuído à menor emissão de metano e óxido nitroso. Em relação ao uso de energia fóssil, Itapetininga apresentou queda expressiva de 40% frente ao cenário com bovinos, destacando-se por não demandar transporte adicional do esterco, o que reforça a eficiência logística da região.

Impactos relacionados à qualidade da água foram menores. A acidificação de água doce caiu 30%, enquanto a ecotoxicidade aquática reduziu 20%, refletindo menor potencial de contaminação por resíduos e metais pesados. A eutrofização de água doce, por sua vez, teve queda de 32%, associada à menor lixiviação de fósforo, reforçando a contribuição positiva do esterco de galinha para o equilíbrio dos ecossistemas hídricos.

Nos aspectos ligados à saúde humana, os ganhos foram evidentes: a toxicidade humana cancerígena apresentou redução de 22%, enquanto a não cancerígena alcançou 17%, demonstrando menor exposição a compostos tóxicos e metais pesados. Outros impactos, como radiações ionizantes, tiveram redução de 15%, e os indicadores de ocupação e transformação de terras apresentaram resultados favoráveis, com ganhos ambientais que indicam regeneração parcial das áreas cultivadas.

Adicionalmente, categorias como eutrofização marinha apresentaram reduções de até 76%, enquanto o uso de recursos minerais caiu 35%, devido à menor dependência de insumos sintéticos. A formação de material particulado reduziu em 17%, e a formação de oxidantes fotoquímicos em 20%, revelando melhor desempenho na qualidade do ar. Por fim, a escassez de água teve redução de 25%, alcançando até valores negativos, o que indica compensação hídrica decorrente do manejo mais eficiente dos nutrientes.

De forma geral, em Itapetininga o uso do esterco de galinha apresentou reduções relevantes em 14 das 18 categorias de impacto, com ganhos críticos para mudança climática, escassez de água e toxicidade humana. As reduções variaram de 18% a 99%, sendo que em 9 categorias os ganhos

superaram 80%. Isso evidencia que o esterco de galinha é uma alternativa estratégica para substituir o esterco bovino, promovendo uma produção orgânica de laranja mais sustentável, de baixo carbono e com menor pressão sobre os recursos naturais.

Principais resultados da ACV-social

A avaliação social do ciclo de vida da produção orgânica em Itapetininga revelou aspectos positivos, mas também desafios importantes. A Tabela 28, relata os impactos sociais alcançados pela propriedade.

Tabela 28 - impactos sociais na produção orgânica de Itapetininga

<i>Subcategoria</i>	<i>Indicadores</i>	<i>Resultados</i>	<i>Justificativa</i>
Salário justo	Trabalhador com o menor salário, comparado ao salário-mínimo e/ou salário digno	+1 (salário maior a R\$ 1.550,00)	O trabalhador ganha R\$ 1.200,00 por dois dias de trabalho, o que excede o mínimo proporcional.
	Presença de deduções suspeitas nos salários	+1 (nunca houve nenhuma dedução no salário do trabalhador)	Não há descontos no salário do funcionário.
	Pagamento regular e documentado dos trabalhadores (semanal, quinzenal)	-1 (pagamento irregular, sem registro em carteira ou sem informações sobre a regularidade dos pagamentos e registro em carteira)	Não há registro formal de emprego.
Hora de trabalho	Número de horas efetivamente trabalhadas pelos empregados	+1 (40 horas semanais)	O funcionário realiza suas tarefas apenas dois dias por semana, o que reduz significativamente a carga horária semanal total.
	Número de feriados efetivamente utilizados pelos empregados	+1 (Aproveita todos os feriados sejam municipais, estaduais ou federais além de comemorações de fim de ano)	O empregador não exige trabalho em feriados, garantindo que esses dias sejam dias de descanso.
	Respeito aos acordos contratuais referentes a horas extras	-1 (não há pagamento de horas extras e banco de horas para descontar ou sem dados a respeito dos acordos contratuais referentes a hora extra)	Não há registro oficial de horas extras ou banco de dados das horas efetivamente trabalhadas.
	A organização oferece flexibilidade	0 (a empresa rural fornece flexibilidade desde que devidamente justificado)	Há flexibilidade quanto aos dias de trabalho, variando de acordo com a demanda.
Trabalho forçado	Os trabalhadores concordam voluntariamente com os termos de emprego. Os contratos de trabalho estipulam salário, tempo de trabalho, feriados e condições de demissão. Os contratos de trabalho são compreensíveis para os trabalhadores e são mantidos em arquivo	-1 (não há anuência expressa com os termos do trabalho ou sem dados sobre o contrato de trabalho)	Não há documentação que comprove a concordância formal e voluntária do trabalhador com as condições de trabalho.

	Certidão de nascimento, passaporte, carteira de identidade, permissão de trabalho ou outros documentos originais pertencentes ao trabalhador não são retidos ou guardados por motivos de segurança pela organização, nem na contratação nem durante o emprego	0 (não há retenção de documentos pessoais)	O vínculo empregatício não apresenta irregularidades a esse respeito.
	Os trabalhadores são livres para terminar seu emprego dentro dos limites vigentes	0 (os trabalhadores podem pedir demissão desde que cumpram o aviso prévio)	O funcionário pode rescindir o vínculo empregatício a qualquer momento.
	Os trabalhadores não estão vinculados por dívidas que excedam os limites legais com o empregador	0 (Em caso de aquisição de dívidas devem pagá-las, sem a necessidade de permanecer no trabalho)	Não há dívida vinculando o trabalhador à propriedade agrícola.
Saúde e segurança	Número/porcentagem de lesões ou acidentes fatais na organização	0 (há acidentes registrados pela empresa agrícola, mas não foram fatais)	Houve um acidente de trabalho em que um funcionário cortou a mão ao manusear uma faca.
	Presença de regras referente à saúde e segurança	-1 (não há regras para a saúde e segurança do trabalhador ou sem dados sobre regras referentes a saúde e segurança dos trabalhadores)	Não há política formal de saúde e segurança do trabalhador.
	Equipamento de proteção apropriado exigido em todas as situações aplicáveis	0 (há equipamentos de proteção individual, mas seu uso não é exigido)	Os itens básicos necessários para o trabalho na produção de laranja são fornecidos.

Em relação ao salário justo, o trabalhador recebe R\$ 1.200,00 por jornada parcial, valor superior ao proporcional do salário-mínimo estadual (cerca de R\$ 558,00), indicando remuneração adequada. Não foram identificadas deduções suspeitas no pagamento, reforçando a conformidade legal. No entanto, o pagamento não é registrado em carteira, o que implica ausência de vínculo formal e de direitos previdenciários, constituindo um impacto negativo relevante.

Na dimensão horas de trabalho, observou-se que a jornada é de 8 horas por dia, dois dias na semana, dentro dos limites legais e até mais favorável que o regime integral, gerando resultado positivo. O descanso em feriados também é garantido, representando outro ponto positivo. Contudo, a falta de registros formais sobre horas extras e acordos contratuais resulta em avaliação negativa, enquanto a flexibilidade oferecida na organização aparece apenas como neutra, pois não ultrapassa os padrões legais.

No aspecto de trabalho forçado, o maior problema identificado é a ausência de contrato formal, o que descumpre a legislação e fragiliza direitos básicos, configurando impacto negativo. Por

outro lado, não houve retenção de documentos pessoais, os trabalhadores podem encerrar o vínculo livremente e não há dependência por dívidas, atendendo ao que a lei prevê, mas sem gerar avanços além do mínimo exigido.

Em relação à saúde e segurança, foi relatado um acidente de trabalho não fatal, classificado dentro do esperado, mas que evidencia a necessidade de medidas preventivas. O ponto mais crítico é a ausência de regras formais e documentadas de segurança, o que gera impacto negativo. Por outro lado, o fornecimento de equipamentos de proteção individual (EPI) foi confirmado, atendendo às exigências legais, ainda que sem avanços adicionais.

De forma geral, a produção orgânica de Itapetininga apresenta avanços sociais importantes, como salários proporcionais justos, jornadas adequadas e ausência de práticas análogas ao trabalho escravo, mas enfrenta desafios sérios relacionados à informalidade trabalhista, ausência de contratos e fragilidades em saúde e segurança. Esses pontos configuram barreiras críticas para a plena sustentabilidade social da produção.

Ações para contribuir com a melhora nos indicadores sociais

Para melhorar os indicadores sociais da produção orgânica em Itapetininga, é fundamental avançar em duas frentes prioritárias. A primeira delas é a regularização trabalhista, assegurando que todos os vínculos sejam formalizados por meio de contratos claros e registro em carteira. Essa medida garante acesso pleno aos direitos trabalhistas, previdenciários e de seguridade social, fortalecendo a proteção legal e reduzindo a vulnerabilidade dos trabalhadores rurais. Em paralelo, torna-se indispensável a criação e execução de políticas públicas eficazes voltadas à formalização do trabalho no campo, oferecendo mecanismos de fiscalização, e apoio aos produtores para que consigam atender às exigências legais sem comprometer a viabilidade econômica.

A segunda ação envolve a melhoria das condições de trabalho, com investimentos contínuos em treinamentos, capacitações e fornecimento de equipamentos adequados de proteção individual. Além de atender às normas de saúde e segurança, essa iniciativa contribui para reduzir riscos físicos e psicológicos associados às atividades agrícolas, favorecendo ambientes laborais mais dignos e produtivos. É necessário implementar rotinas de prevenção, como ergonomia aplicada às tarefas diárias e protocolos formais de segurança, que fortaleçam a cultura de cuidado com o trabalhador.

Principais resultados para a CCV

O CCV investigou todos os custos envolvidos na produção orgânica, considerando a preparação da terra até a colheita e distribuição, abrangendo mão de obra, insumos, manutenção, transporte, entre outros. A Tabela 29 evidencia os dados do custeio do ciclo de vida.

Tabela 29 - custeio do ciclo de vida para a produção buriense de laranja

<i>Tipo de custo</i>	<i>Detalhamento</i>	<i>Valores para a área de cultivo</i>
Despesas do custeio	Operação com animal	0,0000
	Operação com avião	0,0000
	Operação com máquinas: tratores e colheitadeiras; conjunto de irrigação	451,3675
	Aluguel de máquinas	0,0000
	Aluguel de animais	0,0000
	Mão de obra	27,2981
	Administrador	0,0000
	Sementes e mudas	100,0000
	Fertilizantes	1.000,0000
	Agrotóxicos	0,0000
	Receita	3.520,0000
	Outros: embalagens/utensílios, análise de solo, demais despesas	989,3304
	Serviços diversos	360,5500
Total das despesas de custeio (A)		-691,4539
Outras despesas	Transporte externo	1.200,0000
	Despesas administrativas	72,8564
	Despesas de armazenagem	0,0000
	Beneficiamento	0,0000
	Seguro da produção	0,0000
	Seguro do crédito	0,0000
	Assistência técnica	0,0000
	Classificação	0,0000
	Outros (certificado orgânico)	0,0000
	Contribuição especial para a seguridade social rural	4.374,8250
Total das outras despesas (B)		5.647,6814
Despesas financeiras	Juros do financiamento	0,0000
Total das despesas financeiras (C)		0,0000
Custo variável (A+B+C=D)		4.956,2275
Depreciações	Depreciação de benfeitorias/instalações	3.124,7500
	Depreciação de implementos	400,0000
	Depreciação de máquinas	78,1267
	Exaustão do cultivo	305,0818
Total das depreciações (E)		3.907,9585
Outros custos fixos	Manutenção periódica benfeitorias/instalações	7.058,3333
	Encargos sociais	0,0000
	Seguro do capital fixo	0,3049
	Arrendamento	0,0000
Total dos outros custos fixos (F)		7.058,6383
Custo fixo (E+F=G)		10.966,5968
Custo operacional (D+G=H)		15.992,8242
Renda de fatores	Remuneração esperada sobre o capital fixo	11,2781
	Remuneração esperada sobre o cultivo	11,8982
	Terra própria	15.600,0000
Total da renda de fatores		15.623,1762
TOTAL CUSTEIO		31.546,0005

O custeio do ciclo de vida (CCV) da produção de laranja orgânica em Itapetininga revela uma estrutura complexa de gastos que abrange desde insumos básicos até custos de oportunidade

vinculados ao uso da terra. As despesas de custeio apresentaram um saldo negativo de aproximadamente R\$ 691,45, devido ao peso das receitas de R\$ 3.520,00 superando as principais saídas. Dentro dessa categoria, destacam-se os gastos com sementes e mudas (R\$ 1.000,00), o conjunto de irrigação (R\$ 400,00), serviços diversos e despesas adicionais (R\$ 629,33), bem como embalagens e utensílios (R\$ 360,00). Esses elementos demonstram que os insumos produtivos ainda representam parte significativa do orçamento, mesmo em um sistema orgânico.

Na categoria de outras despesas, o montante alcançou R\$ 5.647,68, sendo os principais custos associados ao transporte externo (R\$ 1.200,00) e à contribuição especial para a seguridade social rural (R\$ 4.374,83). Esse último corresponde a mais de 77% do total dessa subcategoria, evidenciando o peso dos encargos obrigatórios sobre o sistema produtivo.

Os custos fixos também se mostraram expressivos. As depreciações somaram R\$ 3.907,96, com destaque para benfeitorias e instalações (R\$ 3.124,75), seguidas da exaustão do cultivo (R\$ 305,08). Já os outros custos fixos chegaram a R\$ 7.058,64, quase totalmente concentrados na manutenção periódica das benfeitorias. Ao integrar depreciações e outros custos fixos, obtém-se um valor de R\$ 10.966,60, representando o maior peso do custo fixo.

Somando-se os custos variáveis (R\$ 4.956,23) e fixos, o custo operacional alcançou R\$ 15.922,82. Contudo, ao considerar também a renda de fatores, composta principalmente pela terra própria (R\$ 15.600,00, equivalente a 99,85% dessa categoria), o custo total da produção atingiu R\$ 31.546,00.

Desafios econômicos para a produção de Itapetininga

Dentre os desafios econômicos mais significativos identificados na produção de laranja orgânica em Itapetininga, destaca-se inicialmente a dificuldade em equilibrar receitas e despesas de custeio. Apesar de a receita de R\$ 3.520,00 superar os gastos imediatos dessa categoria, garantindo saldo positivo, os demais custos fixos e estruturais acabam absorvendo essa vantagem, elevando o custo total a R\$ 31.546,00. Isso evidencia que o preço da laranja orgânica precisa ser suficientemente competitivo para cobrir os custos elevados sem perder espaço frente ao sistema convencional.

Outro ponto crítico é o peso expressivo dos encargos obrigatórios, especialmente a contribuição especial para a seguridade social rural, que representa 77% das outras despesas (R\$ 4.374,83 de um total de R\$ 5.647,68). Esse componente impacta diretamente a sustentabilidade econômica das propriedades e reduz a margem de flexibilidade financeira dos produtores.

Os custos fixos também representam um grande desafio, já que somam R\$ 10.966,60, concentrados principalmente na manutenção periódica de benfeitorias e instalações (R\$ 7.058,64). Esses custos são inevitáveis para manter a estrutura produtiva em funcionamento, mas sua magnitude compromete a competitividade da produção orgânica.

Adicionalmente, a terra própria, contabilizada como custo de oportunidade, representa quase 50% do custo total, com valor de R\$ 15.600,00. Esse peso evidencia que, mesmo sem desembolso direto, a utilização da terra impacta fortemente a análise econômica, limitando a margem de rentabilidade do sistema.

Assim, os principais desafios econômicos concentram-se na elevada participação dos custos fixos e da renda de fatores, no peso desproporcional dos encargos sociais obrigatórios e na necessidade de garantir que a receita da laranja orgânica seja suficiente para compensar esses custos sem perder competitividade frente ao cultivo convencional.

Alternativas viáveis para mitigar os efeitos econômicos

Uma primeira possibilidade está na valorização dos serviços ambientais, por meio de programas de pagamento por serviços ecossistêmicos, certificações socioambientais e participação em mercados de créditos de carbono. O sequestro de carbono e a proteção da biodiversidade gerados pelo sistema orgânico podem ser convertidos em remuneração adicional, aliviando a pressão financeira dos custos fixos e obrigatórios.

Outra medida promissora é a substituição do esterco bovino por esterco de galinha, que demonstrou reduções significativas em impactos ambientais e pode representar vantagem econômica, devido ao menor custo logístico e à maior disponibilidade regional, pois Itapetininga possui 2 milhões de galináceos, o que representa 97,3% dos rebanhos no município. Essa mudança contribui tanto para a mitigação de impactos ambientais quanto para a redução de riscos ligados ao manejo de insumos.

É fundamental investir em estratégias coletivas de gestão, como a formação de cooperativas, parcerias entre produtores e o compartilhamento de recursos. Essas práticas ampliam a escala de produção, permitem negociar melhores preços para insumos e elevam o poder de barganha na comercialização. Além disso, a busca por assistência técnica especializada pode melhorar o planejamento financeiro e operacional, tornando a gestão mais eficiente.

Por fim, a criação ou ampliação de linhas de financiamento específicas para a agricultura orgânica, com juros reduzidos e prazos de pagamento adequados, é relevante para aliviar o peso dos custos estruturais e incentivar a expansão sustentável do setor.

Assim, embora os custos elevados e a alta participação de fatores fixos e obrigatórios representem barreiras à competitividade da produção orgânica, há caminhos claros para superar esses entraves e tornar a atividade economicamente mais acessível, rentável e alinhada às demandas ambientais e sociais contemporâneas.

CONCLUSÕES

A pesquisa realizada em Itapetininga sobre a produção orgânica de laranja permitiu compreender, de forma integrada, os impactos ambientais, sociais e econômicos que envolvem esse sistema produtivo e trouxe contribuições importantes para os negócios analisados. No campo ambiental, os resultados evidenciaram tanto avanços quanto desafios: por um lado, práticas orgânicas reduziram significativamente categorias de impacto relacionadas à acidificação, formação de material particulado e uso de recursos minerais; por outro, a forte dependência do esterco bovino se revelou crítica, especialmente por gerar emissões de gases de efeito estufa de curto prazo, elevada ecotoxicidade em águas doces e pressão sobre a disponibilidade hídrica. Nesse sentido, a análise de sensibilidade demonstrou que o uso de esterco de galinha pode ser uma alternativa viável e estratégica, capaz de reduzir de forma consistente os impactos, com ganhos relevantes em mudança climática, toxicidade humana e escassez de água, além de estar alinhado com a realidade produtiva regional, marcada pela forte presença da avicultura.

No campo social, a avaliação apontou avanços importantes, como a garantia de salários justos proporcionais, jornadas adequadas e ausência de práticas análogas ao trabalho escravo. No entanto, também revelou fragilidades sérias, como a ausência de registro formal em carteira, contratos de trabalho e regras documentadas de saúde e segurança, o que compromete o acesso dos trabalhadores a direitos previdenciários e a ambientes laborais mais seguros. Esses aspectos configuram barreiras críticas à plena sustentabilidade social da produção, exigindo tanto maior conscientização por parte dos produtores quanto o apoio de políticas públicas que incentivem a formalização e ofereçam condições para que a adequação ocorra sem comprometer a viabilidade econômica.

No âmbito econômico, o custeio do ciclo de vida mostrou que, embora a produção orgânica de laranja apresente saldo positivo na categoria de despesas de custeio imediato, os custos fixos e de oportunidade, especialmente a contribuição obrigatória à seguridade social rural e o custo da terra própria, elevam o custo total, o que representa um grande desafio para a competitividade frente ao sistema convencional. Ainda assim, a pesquisa revelou alternativas concretas para

mitigar esses desafios, como a valorização dos serviços ecossistêmicos por meio de certificações e créditos de carbono, o fortalecimento de cooperativas para ganho de escala, a substituição do esterco bovino pelo de galinha e o acesso a linhas de financiamento específicas para produções orgânicas.

A pesquisa contribui diretamente para os negócios analisados ao oferecer uma visão clara dos pontos fortes e das fragilidades do sistema produtivo, fornecendo bases técnicas sólidas para decisões estratégicas. Mais do que apontar problemas, a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida mostrou caminhos viáveis para que a produção de laranja orgânica em Itapetininga se torne mais sustentável, competitiva e socialmente responsável. Assim, este estudo reforça que a transição para modelos agrícolas sustentáveis é possível, e essencial para alinhar rentabilidade, justiça social e conservação ambiental em longo prazo.

ANEXO 1

Quadro 8 – formulário para coleta dos dados ambientais do ciclo de vida

Preenchido por
Identificação do
processo elementar
Período de tempo: Ano

Data do preenchimento
Local de origem dos
dados
Mês de início
Mês de término

Descrição do processo elementar: (anexar folhas adicionais, se necessário)

Entradas de material	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem

Consumo de água	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem

Entradas de energia	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem

Saídas de material (incluindo produtos)	Unidade	Quantidade	Descrição dos procedimentos de amostragem	Origem

NOTA: Os dados nesta folha de coleta de dados referem-se a todas as entradas e saídas coletadas durante o período de tempo especificado, antes de possíveis alocações.

Fonte: Adaptado ISO 14.044 (2006b)

ANEXO 2

Quadro 9 - questionário para o custeio do ciclo de vida

Indicador de categoria	Subindicador	Pergunta
Despesas de Custeio da Lavoura	Operação com animal	Existe operação com animal? Se sim, qual o valor total pago com animal? Quantos são necessários?
	Operação com avião	Existe operação com avião para aplicação de fertilizante? Se sim, informar o preço por aplicação e o total de aplicações
	Operação com máquinas	Há operações envolvendo a produção de laranja com máquinas próprias? Se sim, quais são as máquinas, quantas horas são dedicadas para essas operações e qual o custo da hora/máquina? Há irrigação na área de produção de laranja? Se sim, quais são os custos com reservatório, captação, adução e distribuição de água, drenagem, bem como qualquer outra ação indispensável à obtenção do produto final do sistema de irrigação? Há cobranças pelo uso da água? Se sim qual o valor e qual tipo outorga, captação, consumo ou efluentes? Há operadores das máquinas? Se sim, qual é o salário mensal, quantas horas são trabalhadas nessa atividade? Há manutenção de equipamentos usados no cultivo da laranja? Se sim, quais equipamentos são usados, qual o valor dos equipamentos novos? Há manutenção de implementos mecânicos usados no cultivo da laranja? Se sim, quais implementos mecânicos e instalações de sistema de irrigação são usados, qual o valor dos equipamentos novos? Há operações com máquinas próprias? Se sim, quantas horas são despendidas com essas máquinas?
	Aluguel de máquinas	Há máquinas alugadas? Por quantas horas elas são alugadas? Qual é o valor pago por hora?
	Aluguel de animais	Há animais alugadas? Por quantas horas elas são alugadas? Qual é o valor pago por hora?
	Administrador	Existe administrador rural na propriedade? Qual é o salário mensal do administrador rural?

	Sementes e mudas	Quantas sementes ou mudas foram usadas na produção de laranja? Qual o valor de aquisição por unidade?
	Fertilizantes/Agrotóxicos	Há aplicação de agrotóxico? Se sim, qual a quantidade aplicada por hectare? Qual é o preço do agrotóxico?
	Receita	Qual a quantidade de laranja vendida? Qual é o preço de venda do quilo (kg) da laranja?
	Outros/ Serviços diversos	Há custo com outros itens? Podendo ser: embalagens e utensílio, análise de solo, demais despesas e serviços diversos, se sim, qual o custo?
Outras Despesas	Transporte externo	Há despesas com transporte externo? Se sim, qual a quantidade de produto transportado, qual o preço do frete?
	Despesas administrativas/armazenagem	Há despesas com armazenagem? Se sim, quais são os custos com recepção, expedição, limpeza, secagem, sobretaxa e armazenamento?
	Beneficiamento	Há beneficiamento da laranja? Se sim, quais são os processos de beneficiamento, qual o valor pago para esses processos?
	Seguro da produção/seguro do crédito	Existe algum seguro para a produção de laranja? Se sim, qual o valor pago?
	Assistência técnica/classificação/ outros	Existe o pagamento por serviços com assistência técnica para o cultivo da laranja? Se sim, qual o tipo de assistência e qual o valor pago?
Despesas Financeiras	Juros do Financiamento	Existe algum empréstimo obtido para auxiliar financeiramente na produção de laranja? Se sim, para qual etapa da produção: preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita? Qual foi o valor financiado?
		Existem financiamentos complementares? Se sim, qual o valor e para qual fase do cultivo: preparo do solo, plantio, tratos culturais e colheita?
Depreciações	Depreciação de benfeitorias/instalações	Qual o custo para a construção das instalações existentes na propriedade?
	Depreciação de implementos	Quais são os equipamentos e máquinas usadas para a produção de laranja? E quais são os valores pago?
	Depreciação de máquinas	Quais foram os valores obtidos com receitas nos anos anteriores

		da produção? A contar do início da produção.
Outros Custos Fixos	Arrendamento	Existem arrendamento de terras pela produtora para produção de laranja? Se sim, quanto é o valor pago pelo arrendamento, esse valor se refere a quanto em porcentagem? Qual a produtividade da área arrendada? Qual a porcentagem de terra arrendada? Quantas safras são realizadas por ano?
		Existe terras arrendadas pela produtora? Se sim, quanto é recebido, qual é o tamanho da área arrendada em porcentagem? Quantas safras são realizadas por ano?
Renda de Fatores	Remuneração esperada sobre o capital fixo/remuneração esperada sobre o cultivo	Qual o valor pago para a compra da propriedade agrícola? São realizados quantos cultivos de laranja por ano?

Fonte: adaptado CONAB (2018).

ANEXO 3

Quadro 10 - questionário social do ciclo de vida

Parte interessada	Subcategoria	Questionário
Trabalhadores	Salário justo	Qual é o salário mensal do trabalhador rural?
		Há descontos nos salários dos funcionários? Em algum momento durante a prestação de serviço houve justificativa legal para realizar descontos nos salários dos trabalhadores?
		Os funcionários são registrados em carteira logo que iniciam os trabalhos? O pagamento aos trabalhadores é realizado regularmente?
	Hora de trabalho	Qual é o regime de horas que os funcionários praticam na propriedade agrícola?
		Os funcionários trabalham nos feriados?
		Há acordos sobre trabalhar em horário fora do previsto? E há recebimento de horas extras?
		Há flexibilidade na jornada de trabalho?
	Trabalho forçado	Há a realização de contratos de trabalho com os funcionários? E esses contratos são registrados e mantidos em arquivo passível de ser acessados pelos funcionários?
		Há prática na empresa de retenção de documentos pessoais do funcionário?
		Os funcionários podem pedir demissão a qualquer momento?
		Os trabalhadores têm que ficar no trabalho por conta de alguma dívida adquirida com os empregadores?
	Saúde e segurança	Há registro de acidentes de trabalho na propriedade rural?
		Existem regras ou instruções aos empregados sobre segurança de trabalho?
		Há fornecimento de equipamentos de proteção individual a todos os funcionários nos casos necessários?

Fonte: adaptado Traverso et al. (2021).

ANEXO 4

Figura 22 - comprovante de projeto para o Comitê de Ética

	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR	
COMPROVANTE DE ENVIO DO PROJETO		
DADOS DO PROJETO DE PESQUISA		
Título da Pesquisa:	Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida aplicada a produção de laranja	
Pesquisador:	MATHEUS SOARES DE VASCONCELLOS	
Versão:	1	
CAAE:	81656224.8.0000.5504	
Instituição Proponente:	Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia	
DADOS DO COMPROVANTE		
Número do Comprovante:	081006/2024	
Patrocinador Principal:	FUND COORD DE APERFEICOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP	
Informamos que o projeto Avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida aplicada a produção de laranja que tem como pesquisador responsável MATHEUS SOARES DE VASCONCELLOS, foi recebido para análise ética no CEP Universidade Federal de São Carlos - UFSCar em 19/07/2024 às 16:29.		
Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235		
Bairro: JARDIM GUANABARA	CEP: 13.565-905	
UF: SP	Município: SAO CARLOS	
Telefone: (16)3351-9685	E-mail: cephumanos@ufscar.br	

Fonte: adaptado Comitê de Ética (2024).