

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

Erica Kushihara Akim

**Investigando caminhos para a introdução da Avaliação da Sustentabilidade
Ambiental Absoluta em compras sustentáveis de alimentos: apresentando o *Food
Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment* (FP-AESA)**

Sorocaba

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

Erica Kushihara Akim

**Investigando caminhos para a introdução da Avaliação da Sustentabilidade
Ambiental Absoluta em compras sustentáveis de alimentos: apresentando o *Food
Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment* (FP-AESA)**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis para obtenção do título de Doutor em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientação: Prof. Dr. Diogo Aparecido Lopes Silva

Sorocaba

2026

Akim, Erica Kushiara

Investigando caminhos para a introdução da Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta em compras sustentáveis de alimentos:: apresentando o Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment (FP-AESA) / Erica Kushiara Akim -- 2026. 206f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Diogo Aparecido Lopes Silva
Banca Examinadora: Fábio Puglieri, Luiz Carlos de Faria, Thiago Oliveira Rodrigues, Tiago Fonseca Albuquerque Cavalcanti Sigahi
Bibliografia

1. Planetary Boundaries. 2. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta. 3. Compras sustentáveis de alimentos. I. Akim, Erica Kushiara. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

Folha de Aprovação

Defesa de Tese do Curso de Doutorado da candidata Erica Kushihara Akim, realizada em 09/04/2026.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Diogo Aparecido Lopes Silva (UFSCar)

Prof. Dr. Fábio Neves Puglieri (UTFPR)

Prof. Dr. Luiz Carlos de Faria (UFSCar)

Prof. Dr. Thiago Oliveira Rodrigues (Ibict/MCTI)

Prof. Dr. Tiago Fonseca Albuquerque Cavalcanti Sigahi (USP)

Dedico esse texto aos meus pais Toshiyuki (*in
memoriam*) e Maria Lúcia, aos meus irmãos
Naoto e Naguisa, e ao meu companheiro de vida -
Nagib.

AGRADECIMENTO

Agradeço à minha família, que sempre me apoiou de forma incondicional.

Não posso deixar de agradecer ao professor Diogo, pela confiança e apoio. Sempre disponível e generoso.

Estendo os meus agradecimentos à equipe do PPGPUR: Profa. Franciane, Profa. Roberta, Prof. Fábio, e, em especial, à Luciana.

Agradeço a todos os membros do grupo EngS por me acolherem durante estes anos de pesquisa: Farrapo, Daiane, Daniel, Indira, Gabriela, João Victor, Guilherme, Wildor, Profa. Virgínia e Profa. Juliana.

Na UFSCar tive a oportunidade de conhecer pessoas que me encorajaram a continuar os estudos e a dar os primeiros passos na produção de novos conhecimentos: Felipe, Manoela, Luciana, Farrapo, Cintia, Telma, Adriana, Lincoln, Profa. Monica, Prof. Mario e Prof. Rodrigo. Aos muitos outros que, embora não citados nominalmente, sabem da importância de sua contribuição.

Meu sincero agradecimento ao Nagib. Sou grata pelo amor e companheirismo.

“Estamos ameaçando a saúde de todo o planeta. Esse é o diagnóstico da ciência, e ele deve servir como base para qualquer estratégia de desenvolvimento daqui para frente.”

Johan Rockström

RESUMO

AKIM, Erica Kushiara. Investigando caminhos para a introdução da Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta em compras sustentáveis de alimentos: apresentando o *Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment* (FP-AESA). 2026. Tese (Doutorado em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2026.

Os sistemas de produção e consumo de alimentos representam um dos principais fatores de transgressão das fronteiras planetárias. Nesse cenário, as decisões de compras sustentáveis podem atuar como mecanismos para promover sistemas alimentares que respeitem a capacidade de suporte da Terra. Assim, o objetivo desta tese foi propor um *framework* para introduzir a Avaliação Ambiental da Sustentabilidade Absoluta (AESA) como estratégia de gestão dos limites planetários no processo de compras sustentável de alimentos. O modelo proposto, denominado FP-AESA (*Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment*), estruturou-se sob duas perspectivas: uma abordagem simplificada e outra aprofundada. Para tanto, a pesquisa compreendeu uma revisão exploratória da literatura, seguida por dois estudos de caso, um sobre o consumo de alimentos no Brasil e outro sobre as refeições servidas em um restaurante universitário, além da validação do *framework* via método *Fuzzy Delphi* (FDM) com especialistas. Os resultados da revisão indicaram que a Justiça Distributiva Igualitária Per Capita (EPC) é o princípio de alocação do espaço operacional seguro mais adotado (52%) na AESA de alimentos. Quanto aos estudos de caso, a aplicação da abordagem simplificada aos dados de consumo dos lares brasileiros revelou que a transgressão dos limites planetários é mais severa na categoria de uso de água doce do que em mudanças climáticas. Nessa escala de consumo doméstico brasileiro, a carne bovina registrou os maiores índices de transgressão, ao passo que o arroz e o ovo apresentaram maior aderência aos limites sustentáveis. Por sua vez, a AESA sob a abordagem aprofundada, aplicada ao cenário de um restaurante universitário, identificou dez processos críticos, com destaque para as categorias de Mudança Climática e Eutrofização de Água Doce, cujos impactos excederam os limiares de sustentabilidade ambiental absoluta, impulsionados majoritariamente pelo consumo de carne bovina e arroz. Constatou-se, portanto, que diferentes resultados de AESA podem ser observados a depender da versão do *framework* aplicada, da referência de capacidade de suporte adotada e dos princípios de compartilhamento escolhidos. Por fim, a validação via FDM indicou que, apesar das limitações de recursos e de conhecimento técnico, as etapas de revisão estratégica e de aprendizado contínuo do modelo obtiveram elevado nível de concordância entre os especialistas. Em suma, a aplicação dessas abordagens demonstra como introduzir na gestão

de compras sustentáveis as fronteiras planetárias, desde que considerados os *trade-offs* e as incertezas metodológicas intrínsecas ao processo. Para a gestão e formulação de políticas públicas, esta tese exemplifica a viabilidade de adotar critérios mensuráveis e validados de sustentabilidade absoluta, os quais podem ser integrados para promover a segurança alimentar dentro dos limites planetários. A tese apresenta contribuição teórica ao propor uma estrutura para introduzir AESA ao processo de compras sustentáveis de alimentos e serviços de alimentação.

Palavras-chave: Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta; compras sustentáveis; sistemas alimentares; Limites Planetários; ISO 20400.

ABSTRACT

AKIM, Erica Kushiara. Investigating pathways for introducing Absolute Sustainability Assessment into sustainable food procurement: presenting the Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment (FP-AESA). 2026. Thesis (PhD in Planning and Use of Renewable Resources) – Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2026.

Food production and consumption systems represent a major driver of planetary boundary transgressions. In this scenario, sustainable procurement decisions can act as mechanisms to promote food systems that respect Earth's carrying capacity. Therefore, the objective of this thesis was to propose a framework to introduce Absolute Environmental Sustainability Assessment (AESA) as a strategy for managing planetary boundaries within the sustainable food procurement process. The proposed model, named FP-AESA (Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment), was structured around two perspectives: a simplified approach and an in-depth approach. To this end, the research comprised an exploratory literature review, followed by two case studies - one on food consumption in Brazil and another on meals served at a university restaurant - in addition to the validation of the framework by experts via the Fuzzy Delphi Method (FDM). The review results indicated that Equal Per Capita (EPC) distributive justice is the most widely adopted allocation principle (52%) for the safe operating space in food AESA. Regarding the case studies, applying the simplified approach to Brazilian household consumption data revealed that the transgression of planetary boundaries is more severe in the freshwater use category than in climate change. Within this scale of Brazilian domestic consumption, beef recorded the highest transgression rates, whereas rice and eggs showed greater adherence to sustainable boundaries. In turn, the AESA under the in-depth approach, applied to the university restaurant scenario, identified ten critical processes, highlighting the Climate Change and Freshwater Eutrophication categories, whose impacts exceeded sustainability thresholds, driven mostly by beef and rice consumption. It was found, therefore, that different AESA results can be observed depending on the framework version applied, the carrying capacity reference adopted, and the chosen sharing principles. Finally, validation via FDM indicated that, despite resource and technical knowledge limitations, the strategic review and continuous learning stages of the model achieved a high level of consensus among experts. In summary, the application of these approaches demonstrates how to introduce planetary boundaries into sustainable procurement management, provided that the trade-offs and methodological uncertainties intrinsic to the process are considered. For management and public policy formulation, this research

exemplifies the feasibility of adopting measurable and validated absolute sustainability criteria, which can be integrated to promote food security within planetary boundaries. This thesis presents a theoretical contribution by proposing a framework to integrate AESA into the sustainable procurement process for food and food services.

Keywords: sustainable procurement; Absolute Sustainability Environmental; food systems; Planetary Boundaries; ISO 20400.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de organização da Tese.....	25
Figura 2 - As nove fronteiras planetárias	30
Figura 3 - Fluxograma das etapas da pesquisa	54
Figura 4 - Fluxograma da revisão exploratória usando o método PRISMA-ScR	56
Figura 5 – Fluxo adotado para elaboração do FP-AESA	58
Figura 6 - Distribuição temporal dos estudos selecionados (n=33)	69
Figura 7 - Frequência das unidades de análise nos artigos selecionados (n=33)	71
Figura 8 - Etapas da AESA aplicada nos principais alimentos adquiridos no Brasil usando abordagem simplificada.....	80
Figura 9 - aSOS em Mudanças Climáticas: Alocação para Alimentos no Brasil (2018) em kg CO ₂ eq	90
Figura 10 - aSOS em uso de água doce: Alocação para Alimentos no Brasil (2018) em m ³ H ₂ O	91
Figura 11 - Sustentabilidade Absoluta (ASR) da aquisição alimentar domiciliar para mudanças climáticas no Brasil (2018).....	94
Figura 12 - Sustentabilidade Absoluta (ASR) da aquisição alimentar domiciliar para uso da água no Brasil (2018)	95
Figura 13 - Análise de Sensibilidade do ASR em mudanças climáticas frente à variação do SOS Global.....	98
Figura 14 - Análise de Sensibilidade do ASR em mudanças climáticas frente à variação da referência de ingestão calórica média para um adulto.....	100
Figura 15 - Etapas da AESA aplicada em refeição servida em restaurante universitário usando abordagem aprofundada integrada à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	101
Figura 16 – Localização do Restaurante Universitário	103
Figura 17 - Definição da refeição média	106
Figura 18 – Fronteira do sistema da refeição servida no Restaurante Universitário.....	107
Figura 19 - Principais contribuintes (hotspots) para as categorias de impacto	115
Figura 20 – Análise de sensibilidade dos princípios de compartilhamento na alocação do Espaço Operacional Seguro (aSOS)	116
Figura 21 – Gráfico de Sensibilidade da Taxa de Sustentabilidade Absoluta (ASR) às regras de alocação	118
Figura 22 – Sensibilidade da Taxa de Sustentabilidade Absoluta (ASR) às regras de alocação	119
Figura 23 - Nível de experiência dos especialistas em avaliação ambiental da sustentabilidade	123
Figura 24 - Nível de experiência dos especialistas em processos de compras em organizações públicas ou privadas	124
Figura 25 – Avaliação das questões gerais sobre o framework (Q6 a Q11)	126
Figura 26 - Avaliação das questões sobre diretrizes e ações do framework (Q12 a Q23). ...	129
Figura 27 – FP-AESA refinado após avaliação dos especialistas	130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Processos do sistema terrestre, variáveis de controle e limites planetários atualizados em 2025	31
Tabela 2 - Processos do sistema Terra (e suas variáveis de controle), limites planetários, estado atual, pressões atuais do sistema alimentar (com sua contribuição relativa entre parênteses) e o limite proposto do sistema alimentar para múltiplas variáveis de controle.....	35
Tabela 3 - Aquisição alimentar domiciliar per capita anual, segundo os produtos selecionados - Brasil - 2017/2018.....	82
Tabela 4 - Valores do PB adotados no estudo como SOS Food e correspondência com CF e WF	84
Tabela 5 - Sustentabilidade Absoluta (ASR) da aquisição alimentar domiciliar para mudanças climáticas (CC) e para uso da água no Brasil (WU).....	96
Tabela 6 - Dados de transporte por Unidade Funcional (UF)	110
Tabela 7 – Fronteiras Planetárias alinhados à LCIA (Sala <i>et al.</i> , 2020).....	112
Tabela 8: Valores das categorias de impacto calculados a partir do método de AICV EF 3.0 (Sala <i>et al.</i> , 2020) e anuais.....	113
Tabela 9 - País de atuação, tipo de organização de vinculação e formação acadêmica em nível de pós-graduação stricto sensu do especialista.....	122
Tabela 10 - Tipo de cargo ou função de atuação agrupados.....	123
Tabela 11 - Resultados da avaliação das questões sobre forma e linguagem do FP-AESA (questões 6 a 11).....	125
Tabela 12 - Resultados da avaliação das questões sobre as diretrizes e ações propostas pelo FP-AESA (questões 12 a 23)	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Questão de pesquisa, objetivo geral, objetivos específicos e capítulos correspondentes	22
Quadro 2 - Principais fases da AESA	39
Quadro 3 – Quadro comparativo do método AESA com adoção da abordagem PB-EF e PB-LCIA.....	41
Quadro 4 – Quadro comparativo de teorias de justiça distributiva, variável (métrica), padrão, princípio de alocação do espaço seguro associado à teoria e descrição da forma de compartilhamento	43
Quadro 5 - Princípios das compras sustentáveis presentes na ISO 20400 relacionados à sustentabilidade ambiental.....	46
Quadro 6 - Temas centrais das compras sustentáveis na ISO 20400 relacionados à sustentabilidade ambiental.....	47
Quadro 7 – Classificação metodológica da pesquisa	51
Quadro 8 – Aplicação das diretrizes da DSR na pesquisa	52
Quadro 9 – Matriz de relacionamento entre princípios da ISO 20400 e fases da AESA (Bjørn <i>et al.</i> , 2025).....	59

Quadro 10 – Matriz de relacionamento entre princípios da ISO 20400 e as diretrizes da FP-AESA.....	63
Quadro 11 – Matriz de relacionamento entre princípios da ISO 20400 e as ações-chave da FP-AESA.....	64
Quadro 12 – Estudos selecionados na revisão exploratória da literatura	73
Quadro 13 – Categorias de impacto do EF aplicadas ao estudo de caso de AESA	108
Quadro 14 - Diretrizes e ação-chave do framework FP-AESA	121
Quadro 15 – Quadro comparativo das abordagens adotadas nos estudos de caso	133
Quadro A 16 – Descrição do princípio de compartilhamento baseado na contribuição energética (calorias) dos alimentos seguindo Goss e Sherwood (2024) e Freitas <i>et al.</i> (em preparação)	191
Quadro A17 – Descrição do princípio de compartilhamento baseado na contribuição de nutrientes (micronutrientes, vitaminas e minerais) dos alimentos seguindo equação de Heide <i>et al.</i> (2021)	193
Quadro A18 – Descrição do princípio de compartilhamento baseado na capacidade de pagamento a partir do valor do alimento frente ao Produto Interno Bruto (PIB), Despesa do consumo final (FCE) e Valor adicionado bruto (VAB) (seguindo o método de Hjalsted <i>et al.</i> , 2020).....	195

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas português:

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
CND	Contribuição Nacionalmente Determinada
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FC	Fator de caracterização
GEE	Gases de Efeito Estufa
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NFT	Número Fuzzy Triangular
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
PAA	Programa de Aquisição de Alimentos
PNAE	Programa Nacional de Alimentação Escolar
UAN	Unidade de Alimentação e Nutrição
UF	Unidade Funcional
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
VAB	Valor Adicionado Bruto

Siglas inglês:

10YFP	10-Year Framework of Programmes on Sustainable Consumption and Production Patterns
AESA	Absolute Environmental Sustainability Assessment
aSOS	Allocated Safe Operating Space
ASR	Absolute Sustainability Ratio
CAS	Chemical Abstracts Service
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CBDR	Principle of Common but Differentiated Responsibilities
CF	Carbon Footprint
CTR	Capacity to reduce
DSR	Design Science Research
EF	Environmental Footprint
EPC	Equal per capita
EPD	Environmental Product Declaration
EU	European Union
FAO	Food and Agriculture Organization
FCE	Final Consumption Expenditure
FDM	Fuzzy-Delphi Method
FP-AESA	Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment
GDP	Gross Domestic Product
GF	Grandfathering
GHG	Greenhouse Gas
GPP	Green public procurement

GVA	Gross Value Added
GWP	Global Warming Potential
ISO	International Standard Organization
JRC	Joint Research Centre
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
NF	Needs fulfilment
PB	Planetary Boundaries
PB-LCA	Planetary Boundaries – Life Cycle Assessment
PFP	Public Food Procurement
PHC	Planetary Health Check
PHD	Planetary Health Diet
PRISMA-ScR	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews
QFD	Quality Function Deployment
SDG	Sustainable Development Goals
SFP	Sustainable Food Procurement
SJOS	Safe and Just Operating Space
SL	Sufficiency lifestyles
SOS Food	Safe Operating Space for Food Systems
SOS	Safe Operating Space
SoSOS	Allocated share of the Safe Operating Space
SP	Sustainable Procurement
SPP	Sustainable Public Procurement
UNEP	United Nations Environment Programme
WF	Water Footprint

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA	20
1.2	OBJETIVOS	22
1.3	JUSTIFICATIVA DO ESTUDO.....	23
1.4	INEDITISMO	24
1.5	ESTRUTURA DA TESE	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1	O ESPAÇO OPERACIONAL SEGURO PARA A HUMANIDADE.....	27
2.1.1	As Fronteiras Planetárias e suas atualizações.....	29
2.1.2	O espaço operacional seguro para os sistemas alimentares.....	33
2.2	AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ABSOLUTA (AESA) ..	37
2.2.1	Guia JRC 142099 para orientar a adoção da AESA em diferentes escalas	38
2.2.2	A relação entre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação Ambiental de Sustentabilidade Absoluta (AESA)	40
2.2.3	Formas de compartilhar o espaço operacional seguro (aSOS).....	42
2.3	AS COMPRAS SUSTENTÁVEIS COMO VETOR DO CONSUMO SUSTENTÁVEL DOS ALIMENTOS	44
2.3.1	A ISO 20400 e as diretrizes para as compras sustentáveis.....	45
2.4	AS POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE A PRODUÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS E OS LIMITES PLANETÁRIOS	48
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	51
3.1	ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS	51
3.2	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	51
3.3	PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA	52
3.3.1	O caminho metodológico	52
3.3.2	<i>Design Science Research</i> (DSR)	52
3.3.3	Revisão exploratória da literatura.....	55
3.3.4	Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (AESA)	56
3.3.5	Construção do framework FP-AESA	57
3.3.6	Fuzzy Delphi Method (FDM).....	66
4	RESULTADOS.....	69
4.1	REVISÃO EXPLORATÓRIA DA LITERATURA SOBRE AESA VOLTADA À PRODUÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS	69

4.2	ESTUDO DE CASO 1 - APLICAÇÃO DA AESA NOS PRINCIPAIS ALIMENTOS ADQUIRIDOS NO BRASIL A PARTIR DE ABORDAGEM SIMPLIFICADA (<i>SCREENING APPROACH</i>)	79
4.2.1	Passo 1 - Objetivo da AESA	81
4.2.2	Passo 2 - Descrição da atividade e Unidade Funcional	81
4.2.3	Passo 3: Planejamento da contabilidade ambiental	83
4.2.4	Passo 4: Quantificação dos fluxos ambientais.....	83
4.2.5	Passo 5: Estimativa das cargas ambientais resultantes.....	83
4.2.6	Passo 6: Definição dos Espaços Operacionais Seguros (SOSs) globais	84
4.2.7	Passo 7: Alocação do SOS para os alimentos adquiridos no Brasil	85
4.2.8	Passo 8: Comparação e cálculo da taxa de sustentabilidade	87
4.2.9	Passo 9: Interpretação e Análise de Sensibilidade.....	87
4.2.10	Resultados da AESA sobre os principais alimentos adquiridos no Brasil	88
4.2.10.1	Impacto da escolha de critérios de alocação na sustentabilidade absoluta no contexto da aquisição de alimentos	88
4.2.10.2	Desempenho dos alimentos mais consumidos no Brasil frente aos limites planetários dos sistemas alimentares	92
4.2.10.3	Análise de sensibilidade frente à variação do SOS global	97
4.3	ESTUDO DE CASO 2 - APLICAÇÃO DA AESA EM SERVIÇOS DE ALIMENTAÇÃO EM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO (<i>IN-DEPTH APPROACH</i>) ..	101
4.3.1	Passo 1 - Objetivo da AESA	102
4.3.2	Passo 2 - Descrição da atividade e Unidade Funcional	103
4.3.3	Passo 3: Planejamento da contabilidade ambiental	107
4.3.4	Passo 4: Quantificação dos fluxos ambientais.....	109
4.3.5	Passo 5: Estimativa das cargas ambientais resultantes.....	111
4.3.6	Passo 6: Definição dos Espaços Operacionais Seguros (SOSs) globais	112
4.3.7	Passo 7: Alocação das capacidades suporte para o estudo de caso	112
4.3.8	Passo 8: Comparação e Cálculo da Razão de Sustentabilidade.....	113
4.3.9	Passo 9: Interpretação e Análise de Sensibilidade.....	113
4.3.10	Resultados da AESA sobre a refeição servida no Restaurante Universitário.....	113
4.3.10.1	Avaliação relativa dos impactos ambientais da refeição base servida no restaurante universitário	113
4.3.10.2	Definição de cotas ambientais seguras para a refeição sob diferentes perspectivas de alocação	115
4.3.10.3	Taxas de sustentabilidade absoluta da refeição servida no restaurante universitário	117

4.4	FRAMEWORK PARA INTRODUIR AESA AO PROCESSO DE COMPRAS SUSTENTÁVEIS DE ALIMENTOS	120
4.4.1	Apresentação do FP-AESA	120
4.4.2	Perfil dos especialistas.....	121
4.4.3	Resultado da avaliação do FP-AESA	124
4.4.3.1	Avaliação geral do FP-AESA.....	124
4.4.3.2	Avaliação das diretrizes e ações do FP-AESA.....	126
4.4.3.3	Refinamento do FP-AESA a partir da avaliação de especialistas	129
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	131
5.1	DISCUSSÃO SOBRE A REVISÃO EXPLORATÓRIA	131
5.2	DISCUSSÃO SOBRE OS ESTUDOS DE CASO	133
5.2.1	Detalhamento sobre as metodologias adotadas nos estudos de caso.....	133
5.2.2	Escolhas de justiça distributiva para alocação do espaço seguro em AESA de alimentos.....	136
5.2.3	<i>Trade-offs</i> que precisam ser considerados na AESA de alimentos para apoiar as decisões de compras sustentáveis	137
5.2.4	Oportunidades a partir da AESA de alimentos para tomadores de decisão	138
5.2.5	Limitações e oportunidades futuras para aplicações da AESA	139
5.3	DISCUSSÃO SOBRE O FP-AESA	140
6	CONCLUSÕES.....	143
6.1	IMPLICAÇÕES DA TESE	144
	REFERÊNCIAS	146
	APÊNDICES	158
	APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DO FRAMEWORK FP-AESA.....	158
	APÊNDICE B – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO FRAMEWORK FP-AESA	187
	APÊNDICE C – COMENTÁRIOS DOS ESPECIALISTAS SOBRE O FRAMEWORK FP-AESA.....	188
	APÊNDICE D – PRINCÍPIOS E EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O ESPAÇO OPERACIONAL SEGURO ALOCADO (ASOS) ADOTADOS NA AESA	191
	APÊNDICE E – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO ESTUDO DE CASO 2.....	200
	APÊNDICE F – DECLARAÇÃO DE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	206

1 INTRODUÇÃO

A introdução está organizada em cinco seções. Inicialmente, apresentam-se a contextualização e a problematização da pesquisa (seção 1.1); em seguida, descrevem-se os objetivos (seção 1.2), as justificativas (seção 1.3) e argumenta-se sobre o ineditismo (seção 1.4); por fim, descreve-se brevemente a estrutura dos capítulos subsequentes (seção 1.5).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

Os sistemas alimentares, embora fundamentais à subsistência humana, exercem pressão direta sobre os limites biofísicos da Terra, respondendo por cerca de 30% das emissões globais de gases de efeito estufa (Rockström *et al.*, 2025; Willett *et al.*, 2019). Essa pressão ambiental conecta-se a desafios de saúde pública por meio da "síndemia global", conceito que descreve a coexistência e a interação mútua entre as pandemias de obesidade, desnutrição e as mudanças climáticas (Swinburn *et al.*, 2019).

As fronteiras planetárias definem os limites biofísicos que, se ultrapassados, podem causar danos irreversíveis ao equilíbrio do ecossistema terrestre (Richardson *et al.*, 2023; Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015). Para garantir a segurança alimentar de uma população global crescente, a produção e o consumo de alimentos devem operar dentro do Espaço Operacional Seguro (SOS)¹, respeitando os limites que asseguram a estabilidade e a resiliência planetária.

O desequilíbrio entre a preservação ambiental e os sistemas alimentares globais evidencia-se na contradição entre níveis recordes de produção e a persistência da insegurança alimentar. Embora a agricultura intensiva e os avanços tecnológicos tenham ampliado a oferta calórica global, o acesso à nutrição permanece estratificado, resultando em cerca de 2,8 bilhões de pessoas, um terço da população mundial, sem acesso regular a dietas saudáveis (The State of Food Security and Nutrition in the World 2024, 2024).

Somada à desigualdade no acesso aos alimentos, observa-se uma pressão crescente sobre os recursos naturais. As projeções atuais indicam que a persistência das tendências de expansão de culturas para fins não alimentares, como os biocombustíveis, pode resultar na ocupação superior a 70% das terras cultiváveis até 2030, o que reduziria severamente a área disponível para a produção de alimentos destinados ao consumo humano (Ray *et al.*, 2022).

¹ A carga máxima contínua que o meio ambiente pode suportar sem sofrer danos críticos (Bjørn *et al.*, 2025) ou irreversíveis.

Diante da pressão sobre os recursos naturais, combinada ao acesso desigual a alimentos saudáveis e sustentáveis, a preservação dos limites biofísicos dos sistemas terrestres exige uma responsabilidade compartilhada, na qual os governos e instituições públicas e privadas ocupam papel central. Nessas instâncias ocorrem as decisões de compras de alimentos, as quais podem fomentar a operação dos sistemas alimentares dentro dos limites planetários e do espaço operacional seguro da humanidade (Rockström *et al.*, 2009).

Para traduzir os limites planetários em escalas menores, foi desenvolvida uma abordagem metodológica específica: a Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (*Absolute Environmental Sustainability Assessment* - AESA), que fundamenta-se na avaliação dos impactos de atividades antropogênicas em relação aos limites ambientais seguros (Bjørn *et al.*, 2020a).

Essa abordagem caracteriza-se pela versatilidade de escala, permitindo análises que abrangem desde produtos específicos até o consumo em nível nacional. Nesse sentido, a integração das fronteiras planetárias aos processos de compras de alimentos, por meio de métodos como a AESA, apresenta-se como um recurso relevante para viabilizar políticas de compras públicas sustentáveis. A partir dessa reflexão, propõe-se a seguinte questão de pesquisa:

De que forma o conceito de fronteiras planetárias, por meio da AESA, pode ser incorporado às diretrizes de compras sustentáveis de alimentos?

Como desdobramento direto dessa questão, esta tese propõe uma estrutura lógica (*framework*) para introduzir e operacionalizar a AESA em práticas de compras sustentáveis de alimentos. O principal desafio a ser enfrentado reside na necessidade de conectar um método científico recente, como a AESA, às rotinas e aos processos pragmáticos do dia a dia das aquisições organizacionais.

Atualmente, as diretrizes existentes para compras sustentáveis baseiam-se predominantemente em avaliações de sustentabilidade relativa, com vistas a comparar o desempenho ambiental entre diferentes opções para selecionar aquela que apresente o menor impacto (a "melhor" entre as disponíveis).

Nesse sentido, a proposta de um *framework* específico para introduzir a avaliação da sustentabilidade absoluta em compras sustentáveis de alimentos é inovadora, pois preenche uma lacuna crítica. A principal contribuição deste estudo consiste em deslocar gradativamente o paradigma da tomada de decisão nas compras: ao invés de comparar o desempenho ambiental

relativo entre alimentos, investiga-se se o item adquirido é, de fato, sustentável frente aos limites planetários.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta tese consiste em propor um *framework* para introduzir AESA no processo de compras sustentáveis de alimentos. A estrutura fundamenta-se nas diretrizes da norma ABNT NBR ISO 20400 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017) e visa integrar os procedimentos de aquisição à metodologia de sustentabilidade absoluta. Com esse intuito, a tese engloba uma revisão da literatura e a realização de estudos de caso destinados a verificar se o consumo de alimentos e os serviços de alimentação operam dentro de um espaço seguro, ou seja, sem exceder a capacidade de suporte planetária (Bjørn; Hauschild, 2015). A questão de pesquisa, o detalhamento dos objetivos gerais e específicos e indicação dos capítulos correspondentes aos objetivos específicos, são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1- Questão de pesquisa, objetivo geral, objetivos específicos e capítulos correspondentes

Questão e objetivos	Capítulos
Questão de pesquisa:	De que forma o conceito de fronteiras planetárias, por meio da AESA, pode ser incorporado às diretrizes de compras sustentáveis de alimentos?
Objetivo geral:	Desenvolver e avaliar um <i>framework</i> para introduzir a AESA no processo de compras sustentáveis de alimentos.
Objetivos específicos:	Capítulo correspondentes na tese:
Identificar os estudos que adotaram a AESA para analisar os impactos da produção e consumo de alimentos, tipo de contabilidade ambiental, justiça distributiva e PB adotados como referência.	4.1
Propor <i>framework</i> baseado na ISO NBR20400 para incluir AESA no processo de compras ambientalmente sustentáveis.	4.4

Fonte: elaborado pela autora.

1.3 JUSTIFICATIVA DO ESTUDO

Os sistemas de produção e consumo de alimentos figuram como protagonistas nas transgressões das fronteiras planetárias. Projeções indicam que, na ausência de medidas que articulem avanços tecnológicos, otimização da gestão, redução de perdas e reorientação dos padrões de consumo, os impactos ambientais podem sofrer um incremento de 50% a 90% até o ano de 2050 (Springmann *et al.*, 2018), resultando no rompimento de múltiplos limites globais, cujo espaço operacional seguro para os sistemas alimentares é explorado detalhadamente na seção 2.1.2.

Nesse cenário desafiador, a busca por modelos produtivos de baixo impacto que integrem viabilidade social e institucional (Van Vuuren *et al.*, 2025) converge com estratégias políticas como a *Farm to Fork* na União Europeia e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) no Brasil, casos apresentados na seção 2.4.

Embora as políticas atuais foquem, majoritariamente, na emergência climática, faz-se necessário considerar a multidimensionalidade dos impactos dos sistemas alimentares. Tais sistemas comprometem severamente o uso da terra, os recursos hídricos e a integridade ecossistêmica, em virtude, sobretudo, da sobrecarga de nitrogênio e fósforo (Springmann *et al.*, 2018).

Para a efetivação de tais ambições políticas, torna-se fundamental o desenvolvimento de métodos e métricas que permitam avaliar a sustentabilidade ambiental sob uma perspectiva absoluta. Tal abordagem possibilita confrontar os impactos ambientais de atividades de produção e consumo de alimentos com o seu respectivo Espaço Operacional Seguro Alocado (aSOS)². Como consequência, oferecer subsídios tanto para a comunicação institucional quanto para a tomada de decisão em processos estratégicos (Ryberg *et al.*, 2016), como as compras públicas ou corporativas.

Embora persista o consenso sobre a necessidade de alinhar os sistemas alimentares às fronteiras planetárias (Rockström *et al.*, 2025; Springmann *et al.*, 2018; Willett *et al.*, 2019), a literatura científica ainda não explicita métodos para integrar a AESA aos processos de compras sustentáveis de alimentos. Dado que a transição para modelos mais ambientalmente sustentáveis exige mudanças estruturais no consumo e na produção, a incorporação dos limites planetários aos critérios de aquisição configura-se como uma lacuna científica relevante e atual.

² Refere-se à capacidade de carga atribuída a uma atividade ou processo antropogênico (Bjørn *et al.*, 2025), tal como um produto, um serviço ou processo produtivo.

1.4 INEDITISMO

A revisão da literatura reitera a originalidade deste estudo ao demonstrar que, embora existam pesquisas sobre a AESA voltadas a dietas nacionais (Lucas; Guo; Guillén-Gosálbez, 2021; Moberg *et al.*, 2020), a alimentos específicos (Bjørn *et al.*, 2020b, 2020c; Chandrakumar *et al.*, 2019; Dutra *et al.*, 2024; Ghani *et al.*, 2023a, 2023a; Goss; Sherwood, 2024; Huang *et al.*, 2020; Mahmood; Ghani; Gheewala, 2023; Pasutto *et al.*, 2025; Sillman *et al.*, 2021; Uusitalo *et al.*, 2018b) ou a cestas de alimentos (Karlsson Potter; Rööös, 2021; Kyttä *et al.*, 2025) persiste a necessidade de investigar sua operacionalização em processos de compras sustentáveis de alimentos, como será detalhado na seção 4.1.

A despeito do crescimento mundial das publicações sobre AESA e alimentos, observa-se uma lacuna no *stricto sensu* brasileiro, com exceção de estudo sobre microalgas (Lasta, 2022). Até a conclusão desta tese, não foram identificados estudos nacionais que articulassem AESA e compras sustentáveis de alimentos, lhe conferindo então um caráter de originalidade e ineditismo³.

Dessa forma, o caráter inovador da tese reside na intersecção de três temas de pesquisa: a aplicação da AESA no contexto brasileiro, as diretrizes da norma de compras sustentáveis ISO 20400 e as compras sustentáveis de alimentos. A elaboração de um *framework* - *Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment* (FP-AESA) - que articule esses pontos constitui uma contribuição original para um tema pouco explorado e emergente, tanto no campo acadêmico quanto na prática organizacional de compras sustentáveis.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

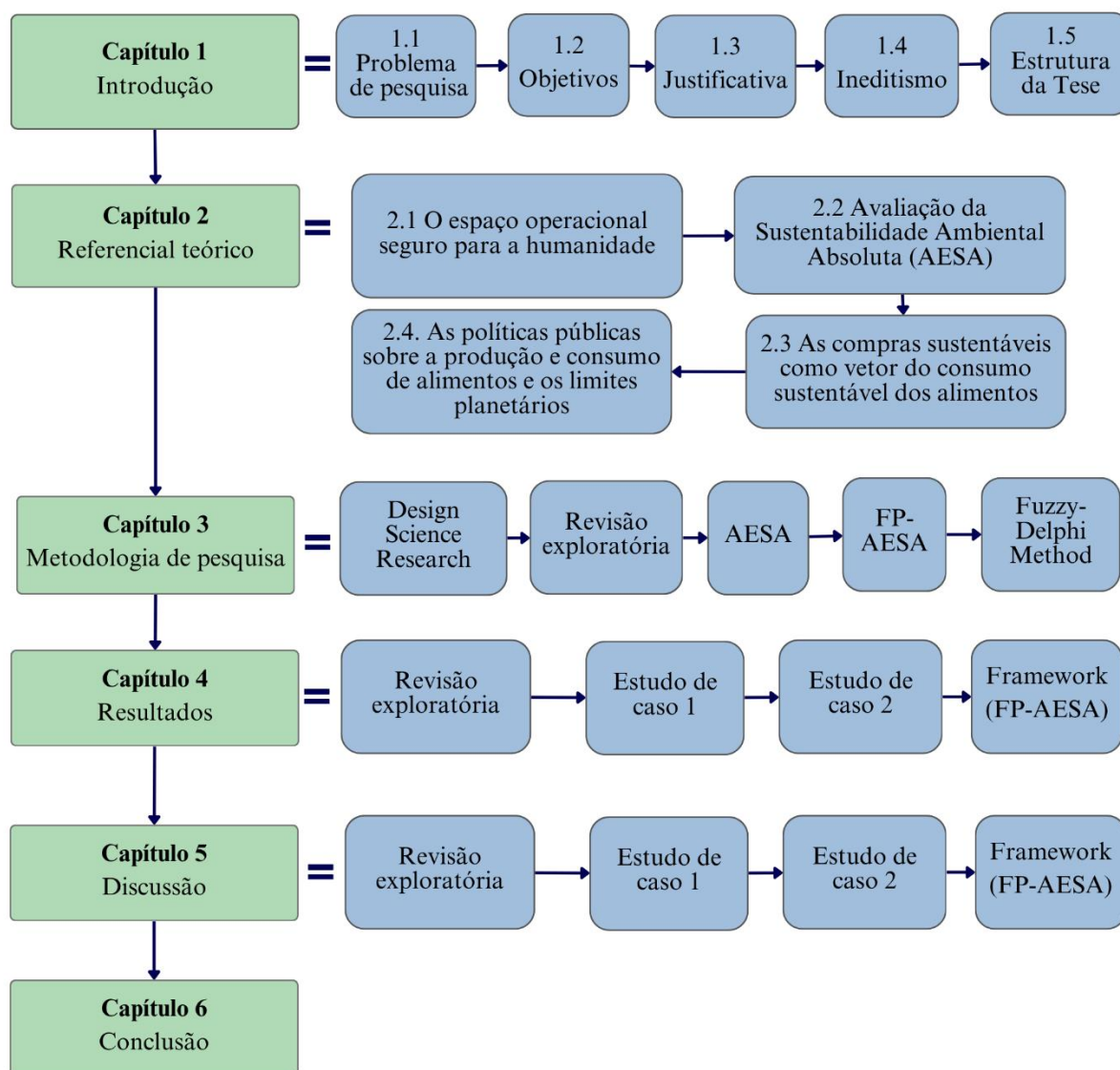
Esta tese está estruturada em seis capítulos (Figura 1). Após a introdução, apresentada no Capítulo 1, delineia-se a fundamentação teórica, que abrange os conceitos centrais do estudo: as Fronteiras Planetárias, a AESA e sua operacionalização com adoção da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), e as compras sustentáveis. Adicionalmente, dedica-se uma seção às principais estratégias políticas voltadas à produção e ao consumo de alimentos.

³ Consulta realizada no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES (<https://catalogodeteses.capes.gov.br/>) em 21/03/2026.

Na sequência, detalha-se a metodologia aplicada a cada uma das etapas do estudo, seguida pela apresentação dos resultados. Estes iniciam-se com a revisão da literatura sobre a aplicação da AESA no setor de alimentos e prosseguem com dois estudos de caso: o primeiro analisa a sustentabilidade absoluta dos alimentos mais adquiridos no Brasil, com base em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); o segundo consiste em uma avaliação aprofundada, com adoção da ACV, de uma refeição em um restaurante universitário no âmbito da contratação de serviços.

Posteriormente, apresenta-se o desenvolvimento do *framework* e sua respectiva validação por especialistas. A tese encerra-se com a discussão dos achados e a exposição das conclusões.

Figura 1 – Esquema de organização da Tese



Fonte: elaborado pela autora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo reúne os principais conceitos que orientam esta tese. Inicialmente, a seção 2.1 explicita o modelo das PBs e, na sequência, detalha os limites específicos voltados aos sistemas alimentares (SoS Food). A seção 2.2 aborda a metodologia AESA, bem como o guia recente da União Europeia (Bjørn *et al.*, 2025), cuja estrutura foi adotada nos estudos de caso desta pesquisa. O recorte do estudo é estabelecido na seção 2.3, que discute as compras sustentáveis sob as diretrizes da ISO 20400, base para o desenvolvimento do *framework* FP-AESA. Por fim, a seção 2.4 apresenta um panorama das principais políticas públicas de produção e consumo de alimentos, analisando o posicionamento dos limites planetários nesse debate.

2.1 O ESPAÇO OPERACIONAL SEGURO PARA A HUMANIDADE

Historicamente, o campo da avaliação da sustentabilidade ambiental prioriza a perspectiva relativa, a qual constitui uma base consolidada para a análise de desempenho de produtos e processos. Metodologias consagradas, como a ACV, orientam-se pela comparação entre produtos ou serviços a fim de identificar alternativas de menor impacto. Embora essa abordagem comparativa seja essencial para promover melhorias incrementais e estabelecer os fundamentos da ecoeficiência (Bjørn *et al.*, 2020a), ela opera de forma independente dos limites biofísicos do planeta (Sala *et al.*, 2020). Nesse sentido, o enfoque relativo fornece subsídios para o aumento da eficiência, sem, contudo, mensurar a adequação dos impactos frente à capacidade de suporte global.

Ancorada no princípio da “sustentabilidade forte” (Dobson, 1996) e no arcabouço das Fronteiras Planetárias (Rockström *et al.*, 2009), a AESA visa determinar se uma atividade respeita a capacidade de suporte dos sistemas terrestres. O foco da análise desloca-se, portanto, da comparação relativa para a conformidade ambiental em termos absolutos. Um exemplo central dessa transição é a avaliação de conformidade de uma organização em relação à sua “cota” de emissões permitida para manter o aquecimento global abaixo de 1,5 °C (Bjørn *et al.*, 2025).

No entanto, dimensionar a transgressão das atividades humanas em escala planetária constitui um desafio significativo. Isso se deve à sua natureza sistêmica e às complexas interconexões dos processos biofísicos da Terra, fatores que são agravados pela escassez de

dados confiáveis e pela ausência de consenso sobre os critérios de justiça distributiva⁴ para a alocação do espaço seguro à atividade avaliada (Bjørn *et al.*, 2020a; Ryberg *et al.*, 2020).

Na literatura científica sobre limites ambientais, destaca-se o arcabouço das Fronteiras Planetárias (*Planetary Boundaries* - PB). Introduzido por Rockström *et al.* (2009), o *framework* retrata a Terra como um sistema complexo e interconectado, fundamentando-se em premissas antecedentes, como a Teoria Gaia (Lovelock; Margulis, 1974). Segundo essa teoria, o planeta opera como um sistema autorregulador no qual componentes bióticos e abióticos interagem para manter as condições de habitabilidade e estabilidade globais.

O PB compartilha a mesma visão sistêmica de Lovelock, mas diferencia-se ao focar na quantificação de limites biofísicos críticos. Esses limiares são responsáveis por manter o sistema terrestre em um estado de estabilidade análogo ao do Holoceno, dentro de uma zona segura denominada "Espaço Operacional Seguro" (do inglês, *Safe Operating Space* - SOS). Em suma, Rockström *et al.* (2009) operacionalizam a premissa da Teoria Gaia, traduzindo-a em um conjunto de parâmetros e limiares mensuráveis que, se ultrapassados, podem desestabilizar os sistemas terrestres.

Uma característica central do PB é a adoção da estabilidade do Holoceno como referência para esse espaço seguro. Este período geológico, iniciado há aproximadamente 11.700 anos, foi fundamental para o desenvolvimento e a prosperidade das civilizações humanas. O Holoceno foi sucedido pelo Antropoceno, a época geológica mais recente, marcada pelo crescimento exponencial da população, pela aceleração da industrialização e pelo consumo de recursos, cujas pressões ameaçam a estabilidade que caracterizou o período anterior (Steffen; Crutzen; McNeill, 2007).

Entre as bases teóricas que precedem o conceito de PB, destaca-se o estudo *The Limits to Growth* (Meadows; Club of Rome, 1972). Embora sua contribuição central tenha sido o alerta sobre o crescimento exponencial em um planeta com recursos finitos, o estudo foi precursor ao difundir a premissa de limites biofísicos intransponíveis.

Diferente das projeções de Meadows, que simulavam as interações entre dinâmicas socioeconômicas, como crescimento populacional e industrialização, o PB de Rockström *et al.* (2009) está centrado na estabilidade dos processos fundamentais do Sistema Terra. A principal distinção reside na proposição de parâmetros quantitativos, definidos como variáveis de controle, cujas métricas e limites de segurança são estabelecidos a partir do conhecimento

⁴ A justiça distributiva diz respeito à distribuição ideal e justa de benefícios e encargos entre os membros de uma sociedade (Ryberg *et al.*, 2020).

científico acumulado sobre a resiliência e o funcionamento biofísico global (Richardson *et al.*, 2023; Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015).

É igualmente importante distinguir as Fronteiras Planetárias dos chamados *tipping points* ou "pontos de não retorno" (Lenton *et al.*, 2008). Segundo Caesar *et al.* (2025), os limites quantificam os níveis seguros para as atividades humanas, de modo a não comprometer a estabilidade do sistema terrestre. Já os *tipping points* indicam limiares críticos, cuja superação pode desencadear mudanças abruptas, muitas vezes irreversíveis. Em uma analogia com a saúde humana, os PBs funcionam como indicadores de saúde (a exemplo da pressão arterial), enquanto um ataque cardíaco representaria a ultrapassagem de um *tipping point* (Caesar *et al.*, 2025).

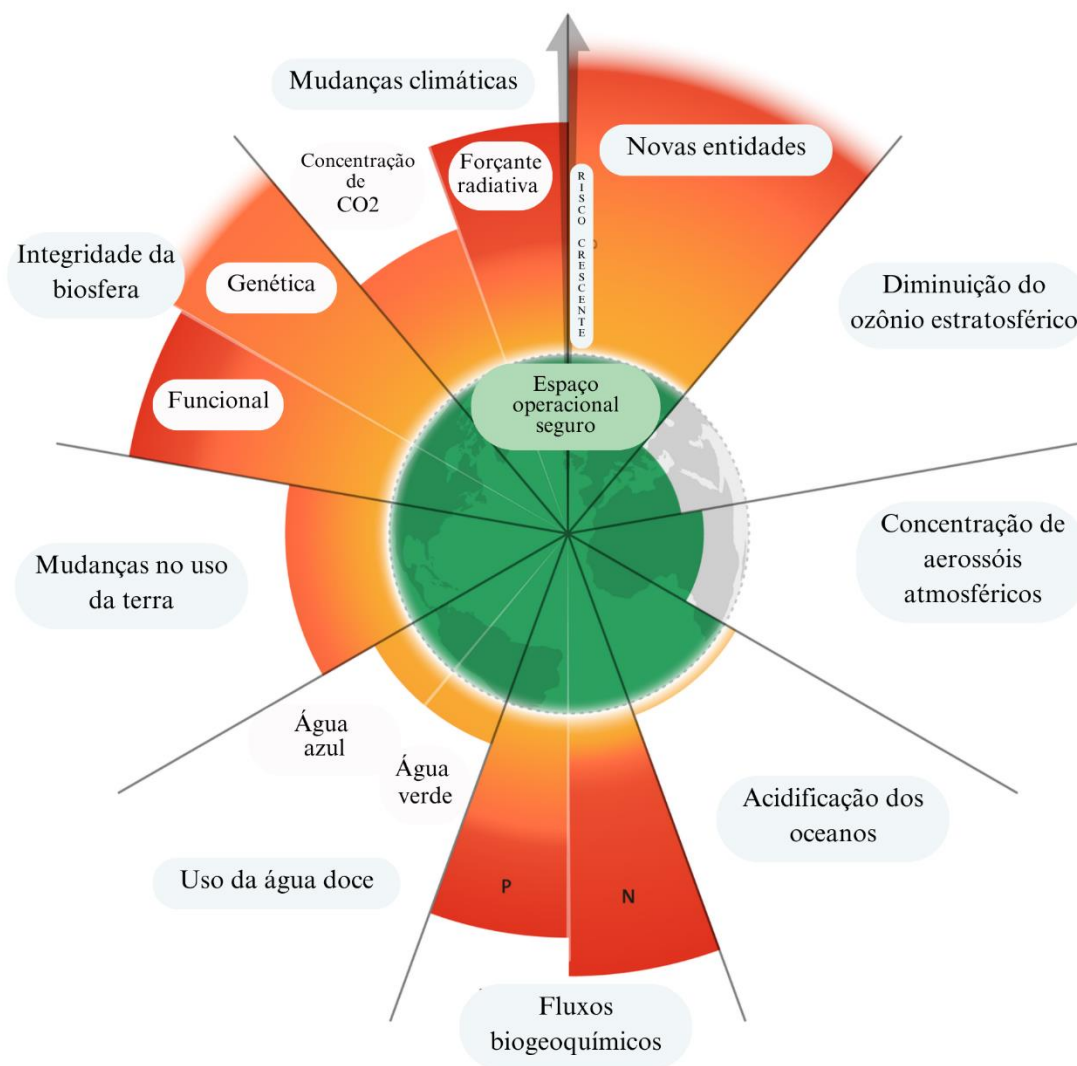
A influência do conceito de PB estendeu-se a outros campos, dando origem a modelos como o "teto ecológico". Este é um termo central na "Economia *Donut*", modelo proposto por Kate Raworth (2017). O objetivo dessa abordagem é conciliar o respeito ao teto ecológico, que representa os limites planetários, com a garantia de uma "base social", que corresponde às necessidades humanas básicas. A partir do estudo de Raworth, o conceito de *safe operating space* (SOS) foi ampliado para *safe and just operating space* (SJOS).

Embora tenham sido estabelecidos em 2009, os valores dos PBs permanecem em constante atualização pelo grupo de cientistas liderado por Rockström. O estágio atual desse debate e os novos limites propostos serão examinados na seção a seguir.

2.1.1 As Fronteiras Planetárias e suas atualizações

O conceito de PB é formado por nove processos críticos que regulam a estabilidade do sistema terrestre. Como pode ser observado na Figura 2, esses limites são: mudanças climáticas; integridade da biosfera (dividida em diversidade genética e funcional); fluxos biogeoquímicos de nitrogênio (N) e fósforo (P); mudanças no uso da terra; uso da água doce; acidificação dos oceanos; concentração de aerossóis atmosféricos; novas entidades e redução do ozônio estratosférico.

Figura 2 - As nove fronteiras planetárias



Fonte: atualização de 2025 dos limites planetários. Licenciado sob CC BY-NC-ND 3.0. Crédito: "Azote para o Centro de Resiliência de Estocolmo, com base na análise de Sakschewski e Caesar *et al.* 2025"

Nota: Adaptação de legendas em português pela autora.

A representação visual do estado das fronteiras (Figura 2) utiliza um código de cores para facilitar a interpretação pelos leitores e público em geral. A área central, em verde, representa o Espaço Operacional Seguro (*Safe Operating Space*). As áreas em laranja indicam que um limite foi ultrapassado, entrando em uma zona de risco, cuja gradação de cor sinaliza o agravamento desse risco.

A construção do gráfico, de acordo com Richardson *et al.* (2023), segue critérios específicos. Por exemplo, as variáveis de controle são normalizadas para que o centro do gráfico represente as condições médias do Holoceno (período pré-industrial). O círculo pontilhado delimita a fronteira planetária, situada no início da zona de risco crescente. As cunhas que

representam cada limite são escalonadas logaritmicamente e, com exceção da água doce (verde e azul), partem de um mesmo raio. A incerteza sobre alguns limites é também representada visualmente: as bordas para "novas entidades" e "diversidade genética" são difusas para indicar que o limite superior da zona de risco ainda não foi quantitativamente estabelecido.

Proposto originalmente em 2009, os PBs foram atualizados por pesquisadores do Centro de Resiliência de Estocolmo em publicações lideradas por Steffen *et al.* (2015) e Richardson *et al.* (2023). Sob o efeito das atividades humanas, seis das fronteiras planetárias foram ultrapassadas (Richardson *et al.*, 2023), sendo elas: mudanças climáticas, integridade da biosfera (composta por diversidade genética e diversidade funcional), fluxos biogeoquímicos do nitrogênio (N) e fósforo (P), mudanças no uso da terra, uso da água doce e novas entidades. De acordo com os resultados mais recentes publicados pelo *Planetary Health Check* em 2025, um sétimo limite foi ultrapassado: a acidificação dos oceanos (Sakschewski *et al.*, 2025).

As atualizações até 2023 dos PBs foram conduzidas pelo Centro de Resiliência de Estocolmo, vinculado à Universidade de Estocolmo. A partir de setembro de 2024, a atualização passou a ser realizada pelo Instituto Potsdam de Pesquisa sobre o Impacto Climático⁵, cujas pesquisas continuaram a ser lideradas por Johan Rockström e Katherine Richardson.

Os resultados atualizados em 2025 corroboram os achados de Richardson *et al.* (2023). Tais dados, apresentados na edição mais recente do relatório *Planetary Health Check* (PHC), encontram-se resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Processos do sistema terrestre, variáveis de controle e limites planetários atualizados em 2025

Processo do sistema terrestre	Variáveis de controle	Limite planetário	Valor atual PHC (2025)	Resultado
Mudanças climáticas	Concentração atmosférica de CO ₂ (ppm CO ₂)	350 ppm de CO ₂	423 ppm de CO ₂	Limite ultrapassado
	Forçante radiativa (W/m ²)	+1,0 W/m ²	+2,97 W/m ²	Limite ultrapassado
Integridade da biosfera	Perda da diversidade genética (E/MSY)	<10 E/MSY	100-1000 E/MSY	Limite ultrapassado
	Declínio da integridade funcional da biosfera: HANPP	HANPP <10%	30% HANPP	Limite ultrapassado

⁵ Informações sobre atualização referente a 2025 das fronteiras planetárias podem ser consultadas em <https://www.planetaryhealthcheck.org/>

Depleção do ozônio estratosférico	Concentração estratosférica de O ₃ (DU)	<5% de redução em relação ao nível pré-industrial avaliado por latitude (~277 DU)	285,7 DU	Dentro do limite seguro
Acidificação do oceano	Concentração do íon carbonato no estado de saturação da aragonita (média global da superfície dos oceanos) (Ω_{arag}) Unidade adimensional	O PB para a média global da superfície Ω é definido em 2,86	2.84 Ω_{arag}	Limite ultrapassado
Fluxos biogeoquímicos: fósforo e nitrogênio	Fluxo de P de fertilizantes para solos erosivos (Tg/Ano)	Regional: 6,2 Tg/ano	Regional: 18,2 Tg/ano	Limite ultrapassado
	Nitrogênio global: fixação industrial e intencional (Tg/Ano)	Nitrogênio global: 62 Tg Tg/ano	165 Tg/ano	Limite ultrapassado
Mudanças no uso da terra	Porcentagem de cobertura florestal potencial (% de área remanescente)	Global: 75%	Global: 59%	Limite ultrapassado
Mudança no uso da água doce	Água azul: perturbação induzida pelo homem no fluxo de água azul	Água Azul: 12,9%	22,6%	Limite ultrapassado
	Água verde: perturbação induzida pelo homem na água disponível para as plantas (% de área terrestre com desvios da variabilidade pré-industrial)	Água verde: 12,4%	22%	Limite ultrapassado
Concentração de aerossóis atmosféricos	Diferença inter-hemisférica em AOD Unidade adimensional	0,1 (diferença média anual inter-hemisférica)	0.063	Dentro do limite seguro
Novas entidades	Porcentagem de produtos químicos sintéticos liberados no ambiente sem testes de segurança adequados	> 0	0	Limite ultrapassado

Fonte: organizada pela autora a partir de (Sakschewski *et al.*, 2025).

Nota: *Planetary Health Check* (PHC); Taxas de extinção em E/MSY (extinções por milhão de espécies-ano); HANPP do inglês Human Appropriation of Net Primary Production (Apropriação Humana da Produção Primária Líquida); Unidades Dobson (DU); Recursos hídricos superficiais e

subterrâneos (água azul); água armazenada no solo e na vegetação (água verde); Profundidade Óptica de Aerossóis (AOD).

A base do conceitual dos PBs está centrada na delimitação de um espaço operacional seguro, capaz de acomodar as atividades antrópicas sob condições de resiliência. Como os sistemas alimentares atuam como um vetor central de pressão sobre múltiplos limites terrestres, surgiram esforços para definir limites específicos a esse setor. Tais limites específicos para a produção e consumo de alimentos, formulados a partir de 2019, serão tema da próxima seção.

2.1.2 O espaço operacional seguro para os sistemas alimentares

As emissões de gases de efeito estufa (GEE) da produção de alimentos são responsáveis por aproximadamente 30% do total de emissões de GEE (Willett *et al.*, 2019) e aproximadamente 5,2 bilhões de toneladas de metano e óxido nitroso (Springmann *et al.*, 2018). Além disso, a produção de alimentos é a atividade humana que mais consome água no mundo, seja por meio da agricultura de sequeiro ou do armazenamento de água em represas para irrigação. Estima-se que mais de 90% do consumo humano de água doce seja destinado à produção de alimentos (McDermid *et al.*, 2023), sendo que a atividade é responsável pela utilização de 1.810 km³ de recursos de água azul (Springmann *et al.*, 2018). Outro limite refere-se ao uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, responsável por gerar excedente global significativo de nitrogênio em terras agrícolas, ultrapassando 119 Tg N por ano (Schulte-Uebbing *et al.*, 2022).

Apesar da área global utilizada para a produção de alimentos ter se estabilizado em cerca de 12,6 milhões de km² (Springmann *et al.*, 2018), a expansão do uso da terra de habitats naturais para terras agrícolas persiste em algumas regiões. Isso faz com que a agricultura continue sendo o maior fator de desmatamento no bioma tropical (Caesar *et al.*, 2025). Dados recentes apontam que, no Brasil, entre 2019 e 2024, a agropecuária foi o principal vetor de pressão, sendo responsável por mais de 97% de perda de vegetação nativa (MapBiomas, 2025).

Para enfrentar esses desafios, a Comissão EAT-Lancet estabeleceu duas metas para garantir o fornecimento de dietas planetárias saudáveis para 10 bilhões de pessoas até 2050 (Willett *et al.*, 2019). A primeira delas consistiu em definir objetivos científicos para dietas saudáveis. Essas recomendações são baseadas em uma dieta flexitariana com consumo predominante de legumes, verduras, frutas e grãos integrais e na redução do consumo de carne,

peixe, ovos, cereais refinados e tubérculos e consumo mínimo de açúcares adicionados, gorduras saturadas e sal (Willett *et al.*, 2019).

Já o segundo objetivo é voltado à produção sustentável de alimentos. Para que isso seja possível, a Comissão EAT-Lancet definiu os limites planetários específicos para a produção de alimentos, o que possibilitou atribuir o espaço seguro para alimentos, ou seja, o SOS Food (Willett *et al.*, 2019).

O Relatório EAT-Lancet foi pioneiro em identificar a participação dos sistemas alimentares nos limites planetários (Willett *et al.*, 2019) e cunhou o termo *Planetary Health Diet* (PHD). Em 2025, Rockström e colegas atualizaram e ampliaram o escopo do estudo original de 2019 para os nove limites planetários (Rockström *et al.*, 2025), como elencado na Tabela 2.

Tabela 2 - Processos do sistema Terra (e suas variáveis de controle), limites planetários, estado atual, pressões atuais do sistema alimentar (com sua contribuição relativa entre parênteses) e o limite proposto do sistema alimentar para múltiplas variáveis de controle

Limite Planetário	Variável de Controle	Limite (Seguro)	Estado Atual	Contribuição do Sistema Alimentar	Limite do Sistema Alimentar (Meta 2050)
Mudança climática	Concentração atmosférica de CO ₂	350 ppm CO ₂	419 ppm CO ₂	16–17,7 Gt CO ₂ e por ano (30% do total de emissões antropogênicas)	5 Gt CO ₂ e por ano
	Forçante radiativa antropogênica total no topo da atmosfera	1,2 W por m ²	2,91 W por m ²	24% da forçante radiativa líquida total	..
Mudança no sistema terrestre	Área de terra intacta (% da cobertura original mundial)	50–60% de integridade restante	50% de integridade restante	48 M km ² (34% da superfície total da terra)	Terra agrícola <48 M km ² (requer interromper a conversão de natureza intacta)
	Área de terra intacta (% da cobertura original por ecorregião)	50–60% de integridade restante (atenção às ecorregiões florestais)	10–95% de integridade restante	33% das ecorregiões abaixo do limiar de integridade (50%) apenas devido à agricultura	<40–50% de terra agrícola em nível de ecorregião; restaurando 8,5 M km ² de integridade em ecorregiões florestais
Integridade da biosfera	Integridade funcional da biosfera (HANPP)	5,5 Gt C por ano (<10% da PPN do Holoceno)	13–16,8 Gt C por ano, (25–30% da PPN do Holoceno)	9,9–11,7 Gt C por ano (72–85% do total de HANPP)	5,5 Gt C por ano
	Integridade funcional do ecossistema	>20–25% de habitat por km ² para suportar o funcionamento do agroecossistema	30–60% das terras agrícolas abaixo do limite	88% das terras agrícolas usadas para produção de alimentos	100% de todas as terras produtoras de alimentos dentro do limite
Redução do ozônio estratosférico	Concentração estratosférica de O ₃ (média global)	<5% de redução do nível pré-industrial (~276 DU)	284 DU	3,9–4,2 Tg N ₂ O-N por ano (54–69% do total de emissões de N ₂ O)	1,8 Tg N ₂ O-N

Acidificação dos oceanos	Estado de saturação médio global do oceano de superfície em relação à aragonita (Ω_{arag})	$\geq 80\%$ da média pré-industrial de Ω_{arag} de 3,44	Ω_{arag} de 2,8	25% das emissões de CO ₂ ; principal motor da mudança na Ω_{arag}	Emissões zero de CO ₂ da mudança no uso da terra e uso de energia fóssil na cadeia alimentar
Fluxos biogeoquímicos	Excedente de Nitrogênio	57 Tg de nitrogênio por ano	119 Tg de nitrogênio por ano	50, 70, 80% para deposição, carga em águas superficiais e lixiviação subterrânea	<57 Tg de nitrogênio por ano (insumos de N agrícola <134 Tg N/ano com eficiência atual)
	Perda de Fósforo para águas superficiais	6,1 Tg de fósforo por ano	9,7 Tg de fósforo por ano	7,2 Tg de fósforo por ano (75% do total de entrega)	4,6 Tg de fósforo por ano
Mudança na água doce	Uso de água azul (de consumo; km ³ por ano)	2800 km ³ por ano	1800–2600 km ³ por ano	>1200–1800 km ³ por ano, incluindo águas subterrâneas	2000 km ³ por ano
	Água verde (% da área terrestre livre de gelo além do de variabilidade 5°–95°)	11,1% da área terrestre com desvios locais	15,8% da área terrestre com desvios locais	16,8% das terras agrícolas estão além da variabilidade local	Permanecer dentro da variabilidade pré-industrial em todas as terras agrícolas
Carga de aerossóis atmosféricos	Diferença inter-hemisférica em AOD	0,1 (diferença inter-hemisférica média anual)	0,076 AOD	>80% das emissões de NH ₃ formando PM _{2,5} (hemisfério norte); >50% das emissões de PM _{2,5} da queima de biomassa (hemisfério sul)	<20 Tg NH ₃ (hemisfério norte); interromper emissões de queima de biomassa pela conversão de terras (hemisfério sul)
Novas entidades	% de químicos sintéticos liberados no ambiente sem testes de segurança adequados	0%	Transgredido	3,3–3,7 Tg de aplicação de PAS por ano (85–90% do uso total de pesticidas); 73–130 quilotoneladas de uso de antimicrobianos em animais por ano (73% do uso total)	1 Tg de aplicação de PAS/ano (para evitar alto risco); 0,2 Tg de aplicação de PAS/ano (baixo risco); interromper uso profilático; restringir antimicrobianos a 36.000–75.000 ton/ano

Fonte: Rockström *et al.* (2025). Traduzido pela autora.

Nota: HANPP do inglês Human Appropriation of Net Primary Production (Apropriação Humana da Produção Primária Líquida); Unidades Dobson (DU); Recursos hídricos superficiais e subterrâneos (água azul); água armazenada no solo e na vegetação (água verde); Profundidade Óptica de Aerossóis (AOD).

O estudo da Comissão EAT-Lancet 2.0, publicado em 2025, reafirmou a posição dos sistemas alimentares como o principal vetor de transgressão dos limites planetários, responsável por cerca de 30% das emissões globais de gases de efeito estufa. Além de principal motor da perda de biodiversidade, da degradação dos solos e da sobrecarga dos ciclos de nitrogênio e fósforo.

Adicionalmente às atualizações no SOS Food, o estudo de Rockström *et al.* (2025) introduz uma dimensão crítica de justiça social. Ao estimar que menos de 1% da população global “habita” um espaço “seguro e justo”, onde as necessidades nutricionais são supridas sem transgredir os limites biofísicos. Desta forma, o Relatório 2.0 da Comissão EAT-Lancet reafirma que a transformação dos sistemas alimentares é, intrinsecamente, um desafio que envolve a redistribuição de impactos e as responsabilidades compartilhadas (Rockström *et al.*, 2009). Propor como essa alocação pode ser operacionalizada é um dos objetivos da AESA, conforme será discutido na próxima seção.

2.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL ABSOLUTA (AESA)

Em contraste com as avaliações relativas, a abordagem absoluta compara os impactos da atividade antropogênica com os limites ambientais regionais ou globais (Bjørn *et al.*, 2020a; Bjørn; Hauschild, 2015). Esse tipo de avaliação adota uma perspectiva de ciclo de vida e, idealmente, deve abranger todas as categorias de impacto ambiental (Bjørn *et al.*, 2020a).

Em sua etapa final, a AESA permite interpretar se uma atividade opera dentro do espaço operacional seguro ou se ultrapassa a capacidade de suporte alocada (aSOS), conforme demonstrado na equação que estima a taxa de sustentabilidade absoluta (ASR).

$$\text{Taxa de sustentabilidade absoluta (ASR)} = \frac{\text{Impacto}}{aSOS} \quad (1)$$

Para que uma atividade seja considerada absolutamente sustentável, seus impactos devem respeitar a parcela do espaço operacional seguro a ela atribuída, conforme apresentado nas Equações (2) e (3).

$$\frac{\text{Impacto}}{aSOS} \leq 1 : \text{sustentável} \quad (2)$$

$$\frac{Impacto}{aSOS} > 1 : \textit{insustentável} \quad (3)$$

Embora um índice de sustentabilidade inferior a 1 indique que a atividade respeita sua cota do orçamento ambiental, essa métrica, obtida de forma direta, pode ser insuficiente para determinar a sustentabilidade absoluta (Ryberg *et al.*, 2020). Por essa razão, torna-se necessário definir os critérios para distribuir a capacidade de suporte global, estabelecendo-se assim o Espaço Operacional Seguro Alocado (aSOS) para a atividade avaliada. Tal procedimento envolve dilemas de justiça distributiva e permanece como um tema em aberto, sem consenso na literatura (Bjørn *et al.*, 2020a, 2025; Ryberg *et al.*, 2020).

Ainda que o SOS baseado no *framework* do PB seja a referência mais difundida para a alocação da capacidade de suporte na AESA, outros limites são igualmente adotados, a depender da intenção da avaliação (Bjørn *et al.*, 2025). É frequente a aplicação de metas climáticas globais em estudos de AESA, como os orçamentos de carbono remanescentes do *Global Carbon Budget* (IPCC), empregados por exemplo por Heide; Hauschild; Ryberg (2023) ou de limites setoriais, a exemplo do SOS Food (EAT-Lancet), como discutido na seção 2.1.2. Vale notar que, a despeito das atualizações de Richardson *et al.* (2023), estudos contemporâneos (Zhang; Wang; Li, 2024) ainda estão centrados nos limites planetários atualizados por Steffen *et al.* (2015).

Em 2025, o tema de pesquisa avançou para a consolidação de um vocabulário padronizado e para a publicação do primeiro guia prático pela União Europeia (Bjørn *et al.*, 2025), cujas diretrizes serão abordadas a seguir.

2.2.1 Guia JRC 142099 para orientar a adoção da AESA em diferentes escalas

A publicação de guias representa a consolidação de um campo de estudo, pois a sistematização do conhecimento indica a sua aceitação dentro de um paradigma (Kuhn, 2020).

Em 2025, a Comissão Europeia publicou a versão beta do primeiro guia voltado à aplicação da AESA em diferentes escalas (Bjørn *et al.*, 2025). A iniciativa foi liderada pelo *Joint Research Centre* (JRC), organização responsável por fornecer suporte científico e técnico fundamentado em evidências para as políticas da União Europeia (European Commission, 2025). A publicação da versão consolidada do guia está prevista para 2026 e incorporará as contribuições da comunidade científica à versão inicial.

O Guia, de caráter não normativo, oferece um panorama das métricas e dos principais métodos para a aplicação da AESA. Suas diretrizes fundamentam-se em padrões consolidados de contabilidade ambiental, tais como as normas ISO 14040:2006 e 14044:2006, o ILCD Handbook e o GHG Protocol (Bjørn *et al.*, 2025). Estruturalmente, o documento proposto pelo JRC organiza a AESA em três etapas principais, desdobradas em nove passos e onze subpassos (Quadro 2), que seguem a lógica do cálculo da taxa de sustentabilidade absoluta (Equação 1).

Quadro 2 - Principais fases da AESA

Fase	Etapas	Subetapas
A - Estimar carga ambiental	1 - Definir objetivo da AESA	-
	2 - Descrever atividade	-
	3 - Planejar a contabilidade ambiental	3.1 - Escolher a abordagem da contabilidade ambiental
		3.2 - Definir as fronteiras do sistema
		3.3 - Decidir sobre como tratar a multifuncionalidade do processo
		3.4 - Listar as categorias de impacto e indicadores ambientais
		3.5 - Decidir como tratar as variações espacial e temporal
	4 - Quantificar os fluxos ambientais	4.1 - Coletar dados primários
		4.2 - Coletar dados secundários
		4.3 - Elaborar sistema de processos com fluxos ambientais
	5 - Estimar os resultados dos fluxos ambientais	-
	6 - Desenvolver a lista de capacidade de suporte quantificada	-
B - Alocar as capacidades de suporte	7 - Alocar a capacidade de suporte para atividade	7.1 - Escolher princípios de alocação
		7.2 - Coletar dados necessários para alocação
		7.3 - Aplicar equações de alocação

C	-	Interpretar resultados	8 - Comparar carga ambiental com a capacidade de suporte alocada	-
			9 - Interpretar resultados à luz das incertezas e escolhas	-

Fonte: adaptado pela autora a partir de Bjørn *et al.* (2025).

A fase inicial da AESA consiste na contabilidade ambiental, etapa na qual os impactos são quantificados para compor o numerador da equação da ASR (Equação 1). Na sequência, realiza-se a alocação do espaço seguro, procedimento que distribui os limites ambientais e define a capacidade de suporte alocada (aSOS), a qual constitui o denominador da referida equação. Por fim, a AESA é interpretada. Os exemplos de aplicação baseados no guia JRC142099 (Bjørn *et al.*, 2025), podem ser consultados no Capítulo 4.

Na AESA, a ACV destaca-se como a ferramenta de contabilidade ambiental amplamente utilizada, e as características dessa integração serão apresentadas na seção seguinte.

2.2.2 A relação entre Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e Avaliação Ambiental de Sustentabilidade Absoluta (AESA)

A ACV configura-se como o método de referência para a mensuração de impactos ambientais ao longo das cadeias produtivas de bens e processos. Sua integração à AESA viabiliza a avaliação da sustentabilidade em termos absolutos, ao confrontar os impactos mensurados com os respectivos limites planetários. No entanto, a convergência entre essas abordagens, uma de caráter relativo e outra de natureza absoluta, enfrenta desafios metodológicos decorrentes, sobretudo, do desalinhamento temporal (Guinée; De Koning; Heijungs, 2022).

Ainda que existam métodos como o de Tuomisto (2012) e Doka (2015, 2016), a literatura recente converge para dois métodos principais de utilização da ACV na AESA. A primeira abordagem, denominada PB-LCIA foi desenvolvida por Ryberg *et al.* (2018) e propõe Fatores de Caracterização (FC) para quantificar indicadores de impacto em relação às fronteiras planetárias. O método fundamenta-se em variáveis de controle dos limites de Steffen *et al.* (2015). Ao incorporar esses FCs aos fluxos elementares durante a fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV), os resultados são expressos nas mesmas métricas dos PBs.

Operacionalmente, a aplicação requer a identificação dos fluxos elementares por meio do número *Chemical Abstracts Service* (CAS) ou, na ausência deste, pela nomenclatura técnica.

A segunda abordagem é o PB-EF, proposto por Sala *et al.* (2020). Este método converte os resultados da ACV utilizando referências de normalização global do método *Environmental Footprint* (EF) (EUROPEAN COMMISSION, 2021). Diferentemente do PB-LCIA, que ajusta as métricas da ACV às das fronteiras planetárias, o PB-EF estabelece limites globais que sejam compatíveis com os resultados de AICV obtidos pelo método EF. Essa abordagem expandiu as referências do padrão ILCD (Bjørn; Hauschild, 2015) para o padrão EF.

O método EF foi concebido com o propósito de harmonizar os estudos de ACV no contexto europeu, viabilizando a comparabilidade entre produtos. Atualmente, consolidou-se como a metodologia de ACV padrão adotada pela União Europeia no âmbito das Declarações Ambientais de Produto (EPD).

Segundo o levantamento recente de Paulillo *et al.* (2026), o método de Ryberg *et al.* (2018) oferece maior cobertura de processos terrestres do PB e inclui variáveis de controle regionalizadas, embora enfrente barreiras de implementação devido à ausência de automação em softwares comerciais de ACV. Atualmente, sua aplicação depende de preenchimento manual ou do desenvolvimento de rotinas computacionais externas. Em contrapartida, o método PB-EF possui uma cobertura mais restrita de processos terrestres e também requer procedimentos externos ao software de ACV, mas de menor complexidade, se comparadas ao PB-LCIA.

Uma limitação adicional do método de Ryberg *et al.*, conforme apontado por Sala *et al.* (2020), reside no reduzido número de fluxos elementares mapeados até o momento. Esses e outros contrapontos podem ser conferidos no Quadro 3.

Quadro 3 – Quadro comparativo do método AESA com adoção da abordagem PB-EF e PB-LCIA

Diferenciação	PB-EF Sala <i>et al.</i> (2020)	PB-LCIA Ryberg <i>et al.</i> (2018)
Objeto da conversão	O limite planetário é convertido.	O impacto relativo do produto ou sistema avaliado é convertido.
Ponto da conversão	No final da AESA (fase de alocação do espaço seguro), para alinhar o limite planetário ao resultado da ACV.	No início da AESA (no inventário do ciclo de vida), para alinhar o resultado da ACV ao PB.
Unidade de comparação final	Unidade da ACV (ex: kg CO ₂ -eq, kg N-eq).	Unidade do PB (ex: tN/ano).
Vantagem principal	Usa indicadores de ACV familiares e padronizados.	Trabalha com as unidades científicas originais dos PBs, evitando conversões do limite.

Número de processos terrestres dos limites planetários abrangidos	5	12
Desafio principal	Requer fatores de normalização para os limites planetários, que podem gerar incerteza.	Requer novos fatores de caracterização para converter os impactos do produto ou sistema.

Fonte: organizado pela autora a partir de Paulillo e Sanye-Mengual (2024) e Paulillo *et al.* (2026)

Os limites globais aplicados na alocação do espaço seguro também apresentam divergências e variam conforme as premissas da abordagem adotada:

- PB-EF (Sala *et al.*, 2020): utiliza fatores de normalização fundamentados em Bjørn e Hauschild (2015) e nas atualizações de Bjørn *et al.* (2017), baseadas originalmente em Rockström *et al.* (2009). Este método estrutura-se em indicadores de ponto médio (*midpoint*) com conexão direta a cinco processos do sistema terrestre.

- PB-LCIA (Ryberg *et al.*, 2018): adota uma perspectiva conservadora, baseada na diferença entre a fronteira planetária e o nível de base natural. Para tanto, utiliza o limite inferior do espaço operacional seguro a partir das proposições de Steffen *et al.* (2015).

Outra etapa da AESA consiste em definir o método de atribuição do espaço operacional seguro para a atividade avaliada. Trata-se de uma questão que ainda carece de consenso na literatura científica e cujas principais abordagens serão examinadas na seção subsequente.

2.2.3 Formas de compartilhar o espaço operacional seguro (aSOS)

Estabelecidas as capacidades de suporte e o escopo da AESA, procede-se à determinação de como distribuir o espaço seguro entre as diversas atividades antropogênicas. Esse processo de partilha, orientado à manutenção das atividades dentro dos limites planetários, denomina-se alocação do SOS (Ryberg *et al.*, 2020).

Esta etapa é um campo de pesquisa em desenvolvimento e controverso, pois envolve questões inerentes à equidade, ética e justiça distributiva (Häyhä *et al.*, 2016; Lucas *et al.*, 2021). Por envolver a justiça distributiva, o compartilhamento do SOS frequentemente expõe disparidades estruturais, incluindo as causas da pobreza global (Gupta; Lebel, 2020). Entre as abordagens existentes, destacam-se as apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Quadro comparativo de teorias de justiça distributiva, variável (métrica), padrão, princípio de alocação do espaço seguro associado à teoria e descrição da forma de compartilhamento

Teoria de justiça distributiva	Variável	Padrão	Princípio de alocação do SOS	Descrição da alocação do SOS
Utilitarismo	Bem-estar	Maximizar soma	Econômico (EV)	É proporcional ao valor econômico gerado ou a despesa
			Direito adquirido (<i>grandfathering</i>) (GF)	É proporcional aos impactos da atividade usando como referência o passado
			Otimização de custos (<i>Cost optimization</i>)	Segue um cenário de menor custo de todas as atividades (globais), limitado pelas capacidades de suporte
Prioritarismo	Bem-estar	Função prioritarista. O aumento para os menos favorecidos recebe maior peso	Capacidade de pagamento (<i>ability to pay</i>) / Capacidade de reduzir (<i>capacity to reduce</i>) (CTR)	Quanto maior (menor) a capacidade de um ator para reduzir impactos, menor (maior) será a alocação
Igualitarismo	Recursos, bem-estar, capacidades	Igualdade	Igualitário <i>per capita</i> (EPC)	Cada indivíduo recebe a mesma cota do SOS
Suficientismo	Recursos, bem-estar, capacidades	Prioridade absoluta para quem está abaixo do nível de suficiência	Satisfação das necessidades (<i>Needs fulfilment</i>) (NF)	Alocação é maior (menor) se os habitantes não tiverem satisfeito (tiverem satisfeito) suas necessidades básicas
			Estilo de vida de suficiência (<i>Sufficiency lifestyles</i>) (SL)	Alocação é proporcional ao seu grau de utilidade em um cenário de estilo de vida de suficiência/decente
Libertarianismo	Direitos básicos	Igual	Direito adquirido (<i>grandfathering</i>) (GF)	É proporcional aos impactos da atividade usando como referência o passado

Fonte: organizado pela autora a partir de Ryberg *et al.* (2020) e Bjørn *et al.* (2025).

Nota: O termo *currency* foi traduzido pela autora como variável e diz respeito a como a sociedade deve distribuir o espaço seguro. O princípio baseado em *grandfathering* foi classificado pela autora como aderente a duas teorias de justiça distributiva (utilitarismo e libertarianismo).

A literatura sugere que a definição do método de aSOS constitui a principal fonte de incerteza na AESA (Ryberg *et al.*, 2021; Sala *et al.*, 2020), visto que tal escolha é inerentemente subjetiva e reflete os valores de quem conduz a avaliação (Bjørn *et al.*, 2025). Segundo Ryberg

et al. (2020), a complexidade dessa incerteza varia conforme a escala do sistema: em dimensões amplas, como a nacional, é possível adotar um número restrito de combinações de princípios de justiça, o que reduz as escolhas e a incerteza. Em contrapartida, para escalas reduzidas, como a de produtos, a necessidade de combinar diferentes critérios de compartilhamento amplia a complexidade e o volume de decisões, elevando o grau de incerteza dos resultados.

Para mitigar esse desafio, o guia da Comissão Europeia, base metodológica para AESA desta tese, recomenda a aplicação de, no mínimo, dois princípios de alocação (Bjørn *et al.*, 2025). Ademais, a adoção de um único critério limita a relevância dos achados apenas aos usuários que compartilham da mesma visão ética. Em casos de discordância, recomenda-se o recálculo do aSOS com base em princípios alinhados aos valores dos usuários finais (Ryberg *et al.*, 2021). No contexto organizacional, isso frequentemente resulta na adoção de *proxies* econômicas, baseadas em valor adicionado bruto ou despesas (Hjalsted *et al.*, 2021; Ryberg *et al.*, 2021).

Apresentados os conceitos-chave de PB, SOS Food e AESA, torna-se necessário contextualizar as compras sustentáveis de alimentos. Nesse sentido, as seções subsequentes posicionam as compras sustentáveis no recorte da tese.

2.3 AS COMPRAS SUSTENTÁVEIS COMO VETOR DO CONSUMO SUSTENTÁVEL DOS ALIMENTOS

Historicamente, as compras públicas sustentáveis (CPS) foram impulsionadas pelas Cúpulas Mundiais sobre Desenvolvimento Sustentável, especialmente a Rio+10 e a Rio+20, como parte das ações de transição dos países para novos padrões de produção e consumo. Os principais marcos incluem a Força-Tarefa de Marraqueche, lançada em 2003, e o *10-Year Framework of Programmes on Sustainable Consumption and Production Patterns* (10YFP), estabelecido na Rio+20.

A Força-Tarefa de Marraqueche promoveu o desenvolvimento de políticas de CPS e disseminou o conceito em diversos países, incluindo o Brasil. Por sua vez, o 10YFP fundamentou as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como a meta 12.7, que visa promover práticas de compras públicas sustentáveis em conformidade com as políticas e prioridades nacionais (UNEP, 2025).

Na literatura, as compras públicas sustentáveis recebem diferentes denominações, sendo tratadas frequentemente como sinônimos. Os termos mais frequentes na literatura são Compras Públicas Verdes (*Green Public Procurement* – GPP), Compras Públicas Sustentáveis

(*Sustainable Public Procurement* – SPP) e Compras Públicas Circulares (*Circular Public Procurement* – CPP) (Kristensen; Mosgaard; Remmen, 2021). Sob a perspectiva normativa, compras sustentáveis são aquelas que geram impactos ambientais, sociais e econômicos positivos ao longo de todo o ciclo de vida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017).

O conceito de compras verdes é amplamente adotado na União Europeia e prioriza a dimensão ambiental. O GPP é definido como o processo de aquisição de bens, serviços e obras com impacto ambiental reduzido durante seu ciclo de vida, em comparação a opções similares que não utilizam critérios ambientais (EUROPEAN COMMISSION, 2008). Sua principal característica é a inclusão de requisitos como rótulos ecológicos, eficiência energética, limites de emissões, além de sistemas de gestão ambiental (Rainville, 2017). Espera-se que a difusão do GPP induza o mercado a desenvolver produtos ecológicos, tornando-os o padrão de consumo.

Por sua vez, o termo compras sustentáveis engloba os aspectos sociais, ambientais e econômicos nas decisões de aquisição (Brammer; Walker, 2011). Já a Economia Circular (EC), quando associada às compras públicas, amplia o escopo do GPP: além de introduzir critérios ambientais, requer uma nova abordagem sobre necessidades, processos e modelos organizacionais (Witjes; Lozano, 2016). A relevância das compras sustentáveis para organizações públicas e privadas resultou na normalização global com a ISO 20400:2017, que será apresentada na seção subsequente.

2.3.1 A ISO 20400 e as diretrizes para as compras sustentáveis

Como marco regulatório das compras sustentáveis, a ISO 20400:2017 estabelece as diretrizes para a integração da sustentabilidade em processos de aquisição de organizações de diversos portes e setores. Tal referencial viabiliza o alinhamento entre as práticas de suprimentos e os objetivos de desenvolvimento sustentável da organização. A premissa da norma é transformar as compras em uma prática social, ambiental e economicamente responsável (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), estendendo a análise para toda a cadeia de fornecimento, em vez de restringi-la apenas aos bens e serviços adquiridos (CNI, 2020).

A ISO 20400 é uma norma de diretrizes (*guidance*) e não de um sistema de gestão certificável, que foi desenvolvida para ser integrada ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Por essa razão, sua estrutura utiliza o pensamento sistêmico do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-*

Act), garantindo que as compras sustentáveis constituam um processo de melhoria contínua e não seja restrita a ações isoladas da organização. Essa lógica sistêmica também serviu como base para a proposta do *framework* "Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta" (FP-AESA) (vide seção 4.4).

Embora a norma aborde os três pilares da sustentabilidade de forma integrada, em alinhamento com o escopo da tese, o Quadro 5 relaciona os princípios da ISO 20400 que sustentam essa abordagem sob a perspectiva ambiental.

Quadro 5 - Princípios das compras sustentáveis presentes na ISO 20400 relacionados à sustentabilidade ambiental

Referência na ISO 20400	Princípios das compras sustentáveis	Descrição
4.2	<i>Accountability</i>	As organizações devem ser responsáveis pelos impactos ambientais de suas decisões de compra. O princípio inclui a responsabilidade por externalidades ambientais associadas à cadeia de suprimentos (ex: emissões, poluição e uso de recursos naturais).
4.2	Transparência	O princípio baseia-se na necessidade de promover a comunicação clara de critérios ambientais, riscos e impactos associados às compras e fornecedores.
4.2	Respeito aos direitos dos interesses dos <i>stakeholders</i>	As organizações devem considerar preocupações ambientais de <i>stakeholders</i> como comunidades locais, órgãos reguladores, ONGs ambientais, etc.
4.2	Foco em necessidades	O princípio estabelece a necessidade de avaliar se o produto ou serviço é realmente necessário, incentivando a redução do consumo de recursos e a minimização de impactos ambientais.
4.2	Integração	De acordo com esse princípio, a sustentabilidade ambiental deve ser integrada aos processos de compras com base em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), riscos ambientais e desempenho ecológico dos produtos/serviços.
4.2	Envolvimento e inovação	As organizações devem estimular o desenvolvimento de soluções ambientalmente inovadoras em parceria com fornecedores (ex: design ecológico, materiais recicláveis, logística reversa).
4.2	Análise de todos os custos	Segundo o princípio, convém que uma organização considere uma abordagem mais ampla e estratégica para compras sustentáveis, englobando os custos incorridos ao longo do ciclo de vida, a relação qualidade/preço alcançada e os custos e benefícios para a sociedade.

Fonte: adaptado pela autora a partir de ISO 20400 (ABNT, 2017).

O Quadro 5 demonstra a relação entre princípios da ISO 20400 e a sustentabilidade ambiental. Esses princípios incluem a responsabilização (*accountability*) da organização, a transparência nos critérios de aquisição e o atendimento aos requisitos ambientais das partes interessadas.

A norma integra a gestão de riscos à avaliação do desempenho ambiental de produtos e serviços, incentivando a inovação por meio de parcerias com fornecedores e a análise do custo do ciclo de vida. Esta análise inclui externalidades sociais, para além dos custos financeiros imediatos. Tal abordagem fundamenta-se no alinhamento conceitual com a ISO 26000 (Responsabilidade Social), como poderá ser observado nos temas de compras sustentáveis listados no Quadro 6.

Quadro 6 - Temas centrais das compras sustentáveis na ISO 20400 relacionados à sustentabilidade ambiental

Referência na ISO 20400	Temas centrais das compras sustentáveis	Descrição
4.3	Meio Ambiente	Prevenção da poluição, uso sustentável dos recursos, adaptação e mitigação das mudanças climáticas, proteção do meio ambiente, biodiversidade de restauração dos habitats naturais;
4.3	Governança organizacional	Processos de tomada de decisões e estruturas
4.3	Envolvimento e desenvolvimento da comunidade	Envolvimento da comunidade, educação e cultura, criação de emprego e desenvolvimento de competências, acesso e desenvolvimento de tecnologia, criação de renda e bem-estar, saúde e investimento social.
4.3	Questões do consumidor	Marketing justo, informação neutra e factual, práticas contratuais justas, proteção da saúde e segurança do consumidor, consumo sustentável, apoio e serviço para o consumidor, resolução de disputas e reclamações, proteção dos dados dos consumidores e privacidade, acesso a serviços essenciais, educação e conscientização.

Fonte: adaptado pela autora a partir de ISO 20400 (ABNT, 2017).

De acordo com a ISO 20400, a implementação de compras sustentáveis (CS) é consequência de múltiplos motivadores: como vantagem competitiva, inovação, gestão de riscos, otimização de custos, conformidade legal e expectativas dos consumidores. Embora a norma inclua os aspectos de justiça social, como direitos humanos e práticas trabalhistas, o Quadro 6 concentra-se nos temas ambientais, estando alinhado ao objetivo da tese.

Publicada em 2017, a norma ISO 20400 tem sido objeto de estudo predominante nos setores de construção civil e manufatura (Barbanti *et al.*, 2022; Harris; Divakarla, 2017; Nugroho Sukardi; Abduh, 2019). Nesses contextos, a literatura destaca, por exemplo, os desafios frente à proliferação de certificações ambientais, fenômeno presente no contexto europeu, e a gestão de resíduos. Recentemente, Patel, Feng e Ruparathna (2025) analisaram a influência dos limites do sistema ambiental na seleção de edifícios. Todavia, a norma é pouco explorada quanto à incorporação de métricas de sustentabilidade, logo a sua aplicação no setor de alimentos via AESA, configura-se como uma oportunidade de pesquisa.

A análise dos desafios e lacunas da ISO 20400 permitiu identificar quais diretrizes ambientais podem fundamentar o *framework* de avaliação absoluta aplicado às compras de alimentos. Na seção seguinte, abordam-se as estratégias políticas que regem a produção e o consumo de alimentos.

2.4 AS POLÍTICAS PÚBLICAS SOBRE A PRODUÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS E OS LIMITES PLANETÁRIOS

De acordo com o levantamento do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2022), as aquisições públicas de alimentos e os serviços de alimentação ocupam, respectivamente, a quinta e a sexta posições na agenda de prioridades globais de compras sustentáveis. Embora setores como equipamentos de tecnologia da informação, energia, veículos e obras precedam o setor alimentar, o estudo aponta um crescente interesse governamental por aquisições sustentáveis nessa área. Esse movimento é impulsionado, sobretudo, por marcos políticos como a estratégia *Farm to Fork* da União Europeia.

As políticas públicas e estratégias nacionais são instrumentos necessários para impulsionar a transição para sistemas alimentares mais sustentáveis (Guerrieri *et al.*, 2025). Contudo, a sua eficácia depende do respeito aos limites biofísicos. Portanto, entender como os limites planetários são (ou não) incorporados nessas estratégias políticas permite compreender o real alcance e a ambição das metas nacionais frente aos desafios ambientais globais.

O exemplo mais conhecido é o da União Europeia, com a estratégia *Farm to Fork* no âmbito da Política Agrícola Comum. Esta diretriz estabelece que as instituições públicas devem liderar a promoção de dietas saudáveis e sustentáveis, cabendo às compras governamentais a criação de um mercado estável para alimentos orgânicos e sustentáveis (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

A menção direta aos fluxos biogeoquímicos evidencia-se na meta de converter 25% das terras agrícolas em áreas de agricultura orgânica até 2030, medida que visa estimular esse modelo produtivo. Além disso, as metas quantitativas da estratégia, como a redução de 50% no uso de pesticidas, 20% de fertilizantes e 50% de antimicrobianos, constituem as principais ferramentas de mitigação de impacto nas fronteiras planetárias. O plano tem como ambição a construção de um marco legislativo sobre "comida sustentável" para padronizar o termo em todo o bloco europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

Também merecem destaque as leis francesas de combate ao desperdício de alimentos (Lei Garot e Lei AGECE). O desperdício alimentar responde por 8% a 10% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) e por 3% do total das emissões na França. Portanto, essa redução é considerada um fator estratégico para o alcance da neutralidade de carbono até 2050 (OECD, 2025).

Ainda no contexto europeu, embora o Mecanismo de Ajuste de Carbono na Fronteira (*Carbon Border Adjustment Mechanism - CBAM*), em vigor desde 2026, tenha como escopo inicial o setor industrial, essa ferramenta é um exemplo que afeta diretamente os fertilizantes nitrogenados, que, por sua vez, impactam a fronteira dos ciclos biogeoquímicos. O mecanismo evita, por exemplo, que empresas europeias transfiram sua produção para países com legislações ambientais menos rigorosas (EUROPEAN UNION, 2023).

Outra estratégia é o *Shokuiku*, voltada à alimentação escolar no Japão. Diferente da *Farm to Fork*, que estabelece metas quantitativas, essa política adota uma visão holística baseada na produção local de alimentos. Tal abordagem implica na redução das emissões associadas ao transporte (*food miles*) e no ensino do princípio de gratidão pelos animais e plantas, como forma de promover a proteção da biodiversidade (Kurotani; Shinsugi, 2019).

No Brasil, as políticas públicas de alimentação são fundamentais para garantir o direito humano à alimentação saudável, conforme previsto na Constituição Federal (BRASIL, 1988). Um exemplo é o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), que foi instituído pela Lei nº 11.947/2009, e destina recursos federais para a oferta de refeições e ações de educação alimentar na educação básica (BRASIL, 2009). Com um orçamento de R\$5,3 bilhões em 2024 (BRASIL, 2025), o programa exerce um expressivo poder de compra.

Embora as PBs não sejam citadas nominalmente na legislação brasileira, os princípios da sustentabilidade estão presentes na determinação de que, no mínimo, 30% dos recursos sejam destinados à aquisição de alimentos da agricultura familiar, produzidos localmente. Essa diretriz de apoio ao desenvolvimento sustentável, com ênfase na produção orgânica e agroecológica, atua diretamente na proteção do solo e da biosfera. Tal qual a política japonesa

(*Shokuiku*), o PNAE adota o princípio da localidade, o que reduz as distâncias de transporte e, consequentemente, as emissões de gases de efeito estufa associadas à logística. Ao exigir o respeito aos hábitos regionais, a lei brasileira também protege a agrobiodiversidade contra a homogeneização alimentar.

Outra estratégia política brasileira é o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), instituído originalmente em 2003 e atualizado pela Lei nº 14.628/2023, tem como objetivo combater a insegurança alimentar e incentivar a agricultura familiar. O programa prioriza grupos vulneráveis, como comunidades indígenas e quilombolas, e destina a produção para redes públicas de saúde, educação e assistência social (BRASIL, 2023). O PAA também incentiva as cadeias curtas de comercialização e os modelos produtivos menos intensivos em insumos químicos.

Como pode ser observado, as políticas públicas voltadas à produção e ao consumo de alimentos apresentam variações significativas entre os países, diferenciando-se pelo grau de maturidade institucional e pelos instrumentos adotados. Enquanto estratégias como a *Farm to Fork*, da União Europeia, adotam metas quantitativas rígidas para o setor produtivo, outras iniciativas, como a *Shokuiku* no Japão e o PNAE no Brasil, adotam abordagens educativas e holísticas. No cenário brasileiro, as políticas apresentam um expressivo caráter socioambiental, ao integrarem a promoção da alimentação escolar e a aquisição de alimentos à valorização da agricultura familiar e da biodiversidade local.

As compras públicas desempenham uma função central nas estratégias discutidas, utilizando a escala das aquisições governamentais para impulsionar sistemas alimentares sustentáveis. A emergência de mecanismos como o CBAM e as normas de neutralidade de carbono demonstram, no entanto, que o alcance dessas medidas ultrapassa os limites das aquisições públicas tradicionais. Esse cenário revela que a agenda das compras sustentáveis de alimentos não se restringe apenas ao domínio dos entes governamentais, mas de uma rede complexa de governança global e agentes privados.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

Este capítulo justifica a escolha das abordagens e instrumentos utilizados, detalhando as etapas de execução necessárias para atingir os objetivos da tese, cujos resultados são apresentados no Capítulo 4. A estrutura metodológica divide-se em três seções: a primeira trata das questões éticas envolvendo seres humanos; a segunda apresenta a classificação metodológica da pesquisa; e por fim, descreve o caminho metodológico.

3.1 ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS

A pesquisa foi submetida ao comitê de ética da Universidade Federal de São Carlos. Foi aprovada em maio de 2024 (CAAE 78833124.5.0000.5504) e respeitou os requisitos estabelecidos pela instituição.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

As atividades foram organizadas em duas etapas interdependentes: a exploratória-descritiva e a propositiva, cujas características são elencadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Classificação metodológica da pesquisa

Característica	Classificação metodológica
Natureza	Aplicada
Abordagem	Pragmática com uso de abordagem mista com predominância quantitativa (Quanti-quali)
Objetivos	Exploratório-descritivo e propositivo
Procedimentos técnicos de coleta e análise de dados	Pesquisa bibliográfica e revisão exploratória da literatura, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), <i>Absolute environmental sustainability assessment</i> (AESA), <i>Design Science Research</i> (DSR) e <i>Fuzzy-Delphi Method</i> (FDM)

Fonte: organizado pela autora.

De natureza aplicada, este estudo propõe o desenvolvimento de um *framework* fundamentado na norma ISO 20400 para integrar a métrica AESA às compras sustentáveis de alimentos. Tal enfoque pragmático visa não apenas a uma solução metodológica, mas também ao fomento do aprendizado social, elemento caracterizado por Kates *et al.* (2001) como essencial às ciências da sustentabilidade.

3.3 PERCURSO METODOLÓGICO DA PESQUISA

3.3.1 O caminho metodológico

A pesquisa foi conduzida de forma iterativa, integrando revisões de literatura, resultados parciais e recomendações da banca de qualificação. Esses refinamentos resultaram na ampliação do escopo, que expandiu o recorte de compras públicas para englobar as organizações privadas e do terceiro setor (Seção 2.4), e na adoção da ISO 20400 como estrutura para o *framework*. Devido à natureza dinâmica da pesquisa e ao objetivo de desenvolver uma solução prática fundamentada, a *Design Science Research* (DSR) foi escolhida como a abordagem condutora da tese.

3.3.2 *Design Science Research* (DSR)

Diante do objetivo da tese, a DSR foi selecionada como método unificador. Essa escolha justifica-se por tratar-se de uma abordagem voltada para pesquisas que não visam apenas descrever um problema, mas projetar, construir e avaliar um artefato para resolvê-lo (Venable; Pries-Heje; Baskerville, 2016).

Os fundamentos da DSR foram propostos por Herbert Simon (1969), que a concebeu como um paradigma para resolver problemas do mundo real por meio da criação de artefatos. Consolidada posteriormente por Hevner *et al.* (2004) e Peffers *et al.* (2007), essa abordagem foca na proposição de soluções para problemas existentes ou potenciais. As características e a estrutura da DSR são sintetizadas em sete diretrizes propostas por Hevner *et al.* (2004), que são apresentadas no Quadro 8. A aplicação da DSR, articulada a outras ferramentas e técnicas de coleta e análise de dados ao longo das fases do estudo, é detalhada a seguir.

Quadro 8 – Aplicação das diretrizes da DSR na pesquisa

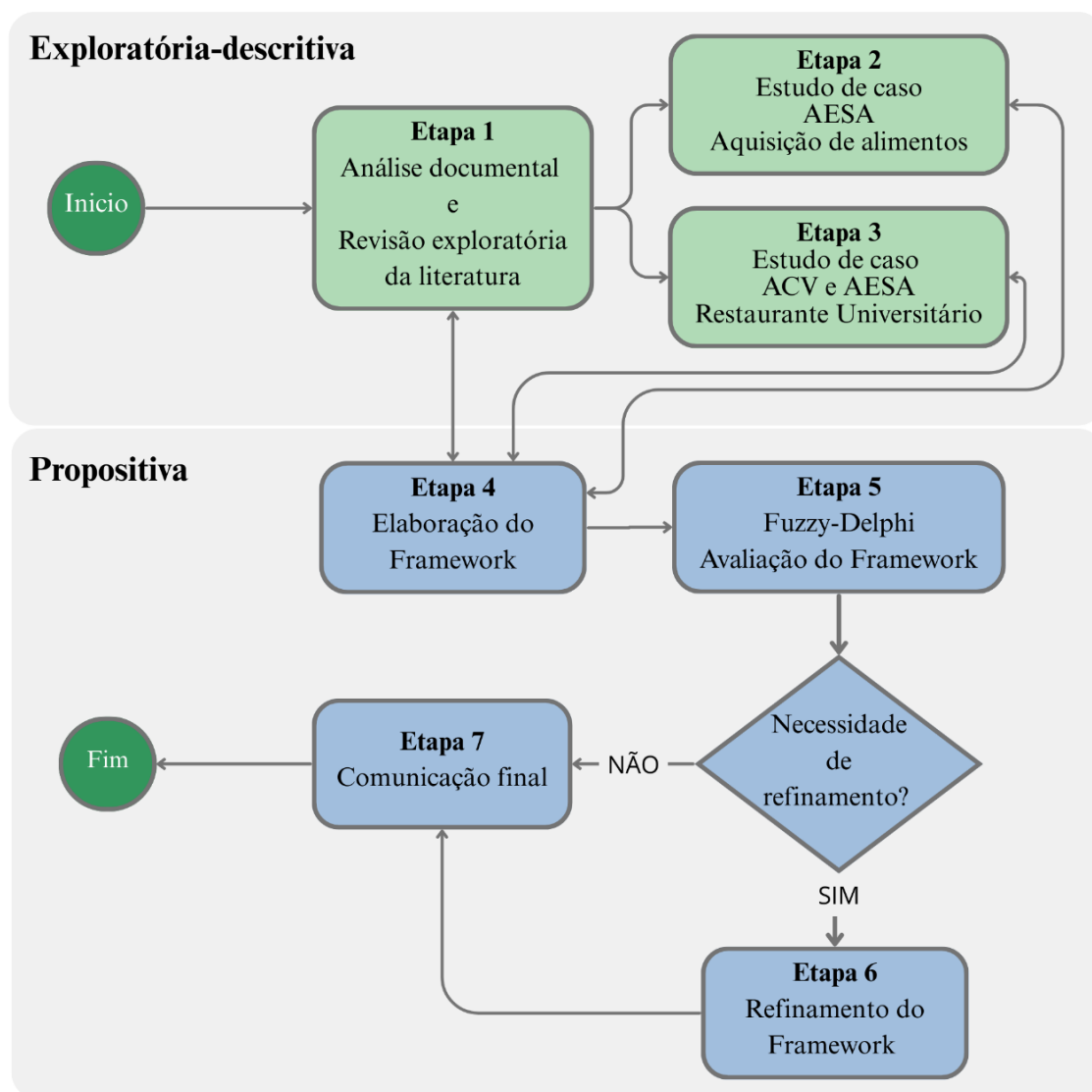
Diretriz da DSR	Aplicação na pesquisa
Design como um artefato	<i>Framework</i> FP-AESA (<i>Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment</i>)
Relevância do problema	Revisão exploratória da literatura
Avaliação do design	O <i>framework</i> foi avaliado pelo painel de especialistas a partir do método Fuzzy-Delphi
Contribuições da pesquisa	Estudos de caso simplificado e aprofundado de AESA aplicado aos alimentos adquiridos no Brasil e na refeição servida em Restaurante Universitário <i>Framework</i> FP-AESA

Rigor da pesquisa	Estudos de AESA seguem o recente Guia JRC 142099 (Bjørn <i>et al.</i> , 2025) O <i>framework</i> foi avaliado pelo painel de especialistas a partir do método Fuzzy-Delphi
Design como um processo de busca	O <i>Framework</i> FP-AESA foi revisado a partir dos resultados da avaliação por especialistas
Comunicação da pesquisa	Publicação futura do <i>framework</i>

Fonte: elaborado pela autora a partir de Hevner *et al.* (2004).

A metodologia da pesquisa foi estruturada em duas fases complementares e iterativas, conforme apresentado na Figura 3. A primeira, de natureza exploratória-descritiva (Fase 1), teve como objetivo diagnosticar o problema e levantar os requisitos para a solução. Nesta fase, realizou-se a análise documental da norma ISO 20400 (vide subseção 2.3.1) e a revisão exploratória da literatura (Etapa 1) para o mapeamento de lacunas. Adicionalmente, conduziram-se dois estudos de caso sobre AESA: o primeiro voltado aos alimentos mais adquiridos no Brasil (Etapa 2) e o segundo aplicado a um restaurante universitário com a utilização da ACV (Etapa 3). A análise desses dados, combinada à revisão da literatura e à avaliação por especialistas, gerou subsídios que contribuíram para o refinamento e para as discussões sobre o *framework*.

Figura 3 - Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: elaborada pela autora.

Na segunda fase, o *framework* foi delineado a partir dos requisitos e lacunas identificados anteriormente. Na sequência, as etapas de construção e avaliação da DSR foram voltadas na elaboração do artefato (Etapa 4). O FP-AESA foi avaliado pelos especialistas por meio do FDM (Etapa 5). A escolha desse método justifica-se pela natureza da proposta, para a qual ainda não há consensos estabelecidos na literatura, como será exposto na seção 3.3.5.

A identificação da lacuna sobre a adoção de AESA na produção e consumo de alimentos fundamentaram-se na revisão de literatura, cujos procedimentos metodológicos são detalhados na seção seguinte.

3.3.3 Revisão exploratória da literatura

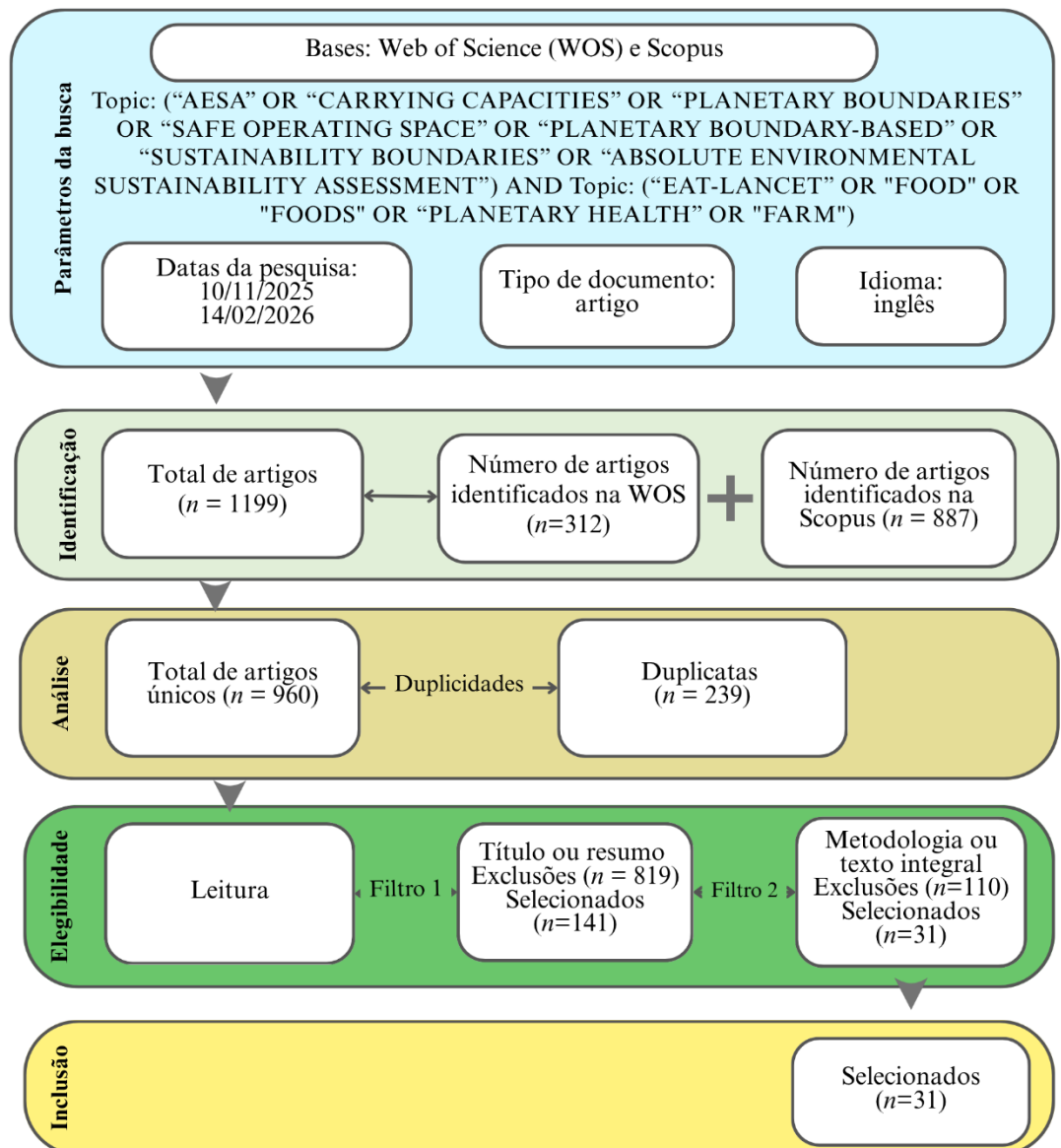
A opção pela revisão exploratória justifica-se pela sua adequação na identificação de lacunas (Arksey; O'Malley, 2005) e para o esclarecimento de conceitos complexos (Levac; Colquhoun; O'Brien, 2010). Esta etapa, de abordagem qualitativa e caráter exploratório, visou identificar os estudos sobre AESA aplicados à produção e ao consumo de alimentos. Para tanto, foram utilizados critérios de seleção adaptados de Ryberg *et al.* (2020), que revisou os princípios de alocação adotados em estudos de AESA:

(i) os estudos abordam diretamente as PBs ou fundamentam-se nos conceitos de SOS para sistemas alimentares (Rockström *et al.*, 2009; Steffen *et al.*, 2015; Willett *et al.*, 2019; Rockström *et al.*, 2025); e (ii) os estudos tratam da atribuição de uma parcela do SOS ou da redução da escala (*downscaling*) dos PBs para a atividade analisada, referindo-se à produção ou ao consumo de alimentos em nível de produto, dieta ou refeição.

A coleta de dados foi realizada na Coleção Principal da Web of Science (WoS) e na Scopus (CLARIVATE, 2025), em 10 de novembro de 2025 e 14 de fevereiro de 2026. O recorte temporal iniciou-se em 2020, sucedendo o período abrangido pela revisão de Bjørn *et al.* (2020). Como tal estudo possuía escopo amplo, não sendo restrito a uma atividade ou sistema específico, as publicações nele contidas e que tratavam especificamente de sistemas alimentares foram selecionadas, enquanto a nova busca a partir de 2020 visou identificar os estudos recentes. A estratégia de busca restringiu-se aos artigos e utilizou a combinação de termos apresentada na Figura 4. Para organização dos registros importados das bases de dados foi utilizado o software Zotero (ZOTERO, 2025).

A revisão seguiu o método PRISMA-ScR (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews*), baseada em Tricco *et al.* (2018), por ser considerada adequada para temas emergentes, como a AESA. Os parâmetros da busca e as etapas de elegibilidade dos estudos, cujos resultados são apresentados no Capítulo 4, estão detalhadas na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma da revisão exploratória usando o método PRISMA-ScR



Fonte: elaborado pela autora, baseado no guia “Prisma ScR” (TRICCO *et al.*, 2018).

A revisão exploratória a partir de 1.199 artigos, resultou em 31 publicações, que serão apresentadas na seção 4.1.

3.3.4 Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (AESA)

A AESA, método central desta tese, consiste em uma avaliação que compara a carga ambiental estimada de uma atividade antropogênica com sua respectiva capacidade de suporte alocada. Essa abordagem adota a perspectiva de ciclo de vida e deve contemplar, idealmente,

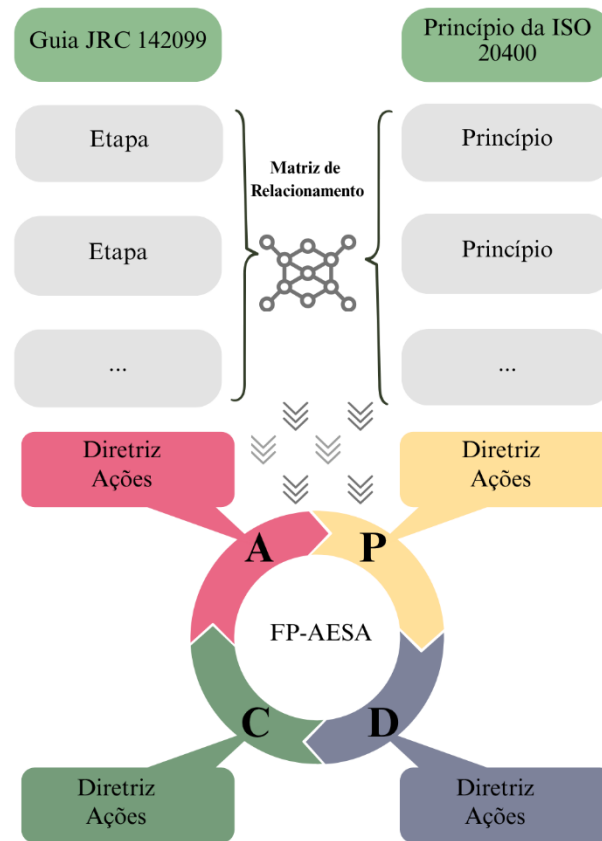
todas as categorias de impacto ambiental (Bjørn *et al.*, 2025). Com base nessa avaliação, é possível comparar os impactos de produtos, empresas e nações com a parcela atribuída da capacidade de suporte (*carrying capacity*) para diversas categorias de impacto (Hjalsted *et al.*, 2021).

Para a condução dos estudos de caso 1 e 2, seguiu-se a versão beta do JRC142099, o Guia da União Europeia para aplicação da AESA em diferentes escalas (Bjørn *et al.*, 2025). A seleção deste guia como referência metodológica justifica-se por representar o *framework* vigente à época da pesquisa e por oferecer uma estrutura abrangente do método (Bjørn *et al.*, 2025).

A aplicação da AESA permitiu determinar se uma atividade opera dentro do espaço operacional seguro ou se ultrapassa a capacidade de suporte alocada, conforme discutido na Seção 2.2. Se a taxa de sustentabilidade resultante for igual ou inferior a 1, a atividade é considerada operante dentro de sua parcela do orçamento ambiental; caso contrário, os limites são considerados excedidos. Os procedimentos detalhados e os resultados dos estudos de caso são descritos no Capítulo 4 (Seções 4.2 e 4.3).

3.3.5 Construção do framework FP-AESA

O FP-AESA foi desenvolvido com base na abordagem PDCA (*Plan – Do – Check - Act*) (Deming, 2018). Essa ferramenta destaca-se por promover a melhoria contínua sob uma perspectiva sistêmica (Garza-Reyes *et al.*, 2018). A Figura 5 ilustra o fluxo adotado para a elaboração do FP-AESA, estabelecendo como ponto de partida os princípios de sustentabilidade ambiental da ISO 20400 (vide seção 2.3.1).

Figura 5 – Fluxo adotado para elaboração do FP-AESA

Fonte: elaborado pela autora.

Nota: Os princípios da ISO 20400 podem ser consultados no Quadro 6 (Seção 2.3.1). As etapas do Guia JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025) estão disponíveis na seção 2.2.1.

A construção do FP-AESA fundamentou-se na articulação entre os princípios de sustentabilidade ambiental (Quadro 5). Para operacionalizar esse cruzamento, empregou-se uma matriz de relacionamento (Matriz L), que integra a metodologia *Quality Function Deployment* (QFD) (Akao, 1990). A Matriz L atuou como a ferramenta central para relacionar as fases da AESA, propostas pelo Guia JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025), aos princípios da ISO 20400. Por fim, a intensidade dessas relações foi classificada pela autora em forte, moderada ou fraca, representadas, respectivamente, pelos símbolos ●, ○ e Δ.

Na construção da matriz (Quadro 9), as linhas horizontais apresentam as fases do Guia JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025). Nas colunas verticais são listados os princípios da ISO 20400 relacionados à sustentabilidade ambiental, previamente listados no Quadro 6.

Quadro 9 – Matriz de relacionamento entre princípios da ISO 20400 e fases da AESA (Bjørn *et al.*, 2025)

Princípios ISO 20400	<i>Accountability</i>	Transparência	Respeito aos direitos dos interesses dos <i>stakeholders</i>	Foco em necessidades	Integração	Envolvimento e inovação	Análise de todos os custos
Fases da AESA							
1 - Definir objetivo da AESA	●	●	●	●	●	●	●
2 - Descrever atividade	●	●	●	●	●	●	●
3 - Planejar a contabilidade ambiental	●	●	○	○	●	○	●
4 - Quantificar os fluxos ambientais	●	●	○	○	●	○	○
5 - Estimar os resultados dos fluxos ambientais	●	●	○	○	●	○	○
6 - Desenvolver a lista de capacidade de suporte quantificada	●	●	●	○	●	○	○
7 - Alocar a capacidade de suporte para atividade	●	●	●	○	●	○	●
8 - Comparar carga ambiental com a capacidade de suporte alocada	●	●	●	●	●	●	●
9 - Interpretar resultados à luz das incertezas e escolhas	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: elaborado pela autora.

Nota: Os princípios podem ser consultados no Quadro 6 (Seção 2.3.1) e as etapas do Guia JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025) estão disponíveis na seção 2.2.1.

Legenda: ● = relação forte; ○ = relação média; Δ = relação fraca

A construção do FP-AESA fundamentou-se nas relações identificadas entre os princípios ambientais da ISO 20400 e as fases da AESA, buscando demonstrar como estas poderiam ser incorporadas às diretrizes e ações para a introdução da AESA nos processos de compras sustentáveis de alimentos. O FP-AESA é resultado desse exercício e suas conexões foram objeto de novas matrizes de relacionamento, que são apresentadas nos Quadros 10 e 11.

A partir da articulação dos princípios da ISO 20400 com as fases da AESA propostas pelo Guia JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025), desenvolveram-se diretrizes e ações estruturadas sob a lógica da melhoria contínua do ciclo PDCA. Na fase de planejamento, por exemplo, as diretrizes e ações propostas no FP-AESA estabeleceram que as organizações devem assumir a responsabilidade (*accountability*) pelos impactos ambientais decorrentes de suas decisões de compra, inclusive no que tange à transgressão dos limites planetários. Essa necessidade pode ser operacionalizada por meio de decisões de compras que considerem os *hotspots* ambientais e incorporem a sustentabilidade absoluta na avaliação da real necessidade de compra. Ademais, essa responsabilidade estende-se às demais fases do FP-AESA, manifestando-se na definição de critérios de compra, na seleção de fornecedores, no monitoramento contratual e na avaliação crítica de todo o processo de suprimentos baseado em AESA.

A transparência, pautada na comunicação de critérios ambientais, riscos e impactos associados às compras e aos fornecedores, constitui outro princípio transversal às etapas do FP-AESA. Ela se sobressai, em especial, na identificação de riscos e oportunidades, na definição de critérios de seleção, no estabelecimento de métricas e indicadores de desempenho para o monitoramento de contratos, e na avaliação crítica dos resultados. Por sua vez, o respeito aos interesses das partes interessadas (*stakeholders*) reflete-se nas atividades de planejamento e na adoção da justiça distributiva para a alocação da capacidade de suporte.

O consumo sustentável manifesta-se no princípio de focar nas necessidades, o qual consiste em avaliar a real necessidade do produto ou serviço, incentivando a redução do consumo de recursos e a minimização dos impactos ambientais. Quanto à integração, esta considera a necessidade de incorporar os processos de compras a estudos de ACV, riscos ambientais e desempenho ecológico de produtos e serviços. Essa integração com métricas de desempenho ambiental apresenta forte conexão com todas as etapas do FP-AESA.

O envolvimento e a inovação configuram-se como um princípio voltado à necessidade das organizações estimularem o desenvolvimento de soluções ambientalmente inovadoras em parceria com fornecedores, repercutindo igualmente em todas as etapas do framework. Por fim, a análise de todos os custos reflete-se horizontalmente no FP-AESA por meio da necessidade de se adotar uma abordagem ampla e estratégica para as compras sustentáveis, englobando os

custos incorridos ao longo do ciclo de vida, bem como os custos e benefícios gerados para a sociedade.

Quadro 10 – Matriz de relacionamento entre princípios da ISO 20400 e as diretrizes da FP-AESA

Princípios ISO 20400 Diretrizes da FP-AESA	<i>Accountability</i>	Transparência	Respeito aos direitos dos interesses dos <i>stakeholders</i>	Foco em necessidades	Integração	Envolvimento e inovação	Análise de todos os custos
P –Considerar nas decisões de compra os <i>hotspots</i> ambientais, usando referências da sustentabilidade absoluta.	●	●	●	●	●	●	●
D – Adotar critérios de compras que avaliem os <i>hotspots</i> ambientais dos produtos com base em referências de sustentabilidade absoluta.	●	●	●	○	●	●	●
C –Monitorar as fases de seleção e gestão de contratos para verificar a conformidade dos fornecedores com os critérios de sustentabilidade absoluta (AESA).	●	●	●	○	○	●	●
A –Utilizar o aprendizado das etapas anteriores para corrigir falhas e aprimorar continuamente o processo de compras sustentáveis.	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: elaborado pela autora.

Nota: Os princípios podem ser consultados no Quadro 6 (Seção 2.3.1) e as diretrizes da FP-AESA foram elaboradas pela autora.

Legenda: ● = relação forte; ○ = relação média; Δ = relação fraca

Quadro 11 – Matriz de relacionamento entre princípios da ISO 20400 e as ações-chave da FP-AESA

Princípios ISO 20400 Ações-chave da FP-AESA	<i>Accountability</i>	Transparência	Respeito aos direitos dos interesses dos <i>stakeholders</i>	Foco em necessidades	Integração	Envolvimento e inovação	Análise de todos os custos
P1 - Usar a AESA para definir as metas de sustentabilidade da organização (ex: redução de emissões e uso de recursos) que devem orientar as decisões de compras.	●	●	●	●	●	●	●
P2 -Utilizar a AESA para priorizar as categorias de produtos (ou fornecedores) a serem analisados, com base nos seus riscos e oportunidades socioambientais.	●	●	●	●	●	●	●
D1 - Estabelecer especificações técnicas e critérios de compras que incorporem formalmente as análises da AESA.	●	●	●	○	○	●	●
D2 - Selecionar fornecedores com base, primordialmente, nas especificações e critérios de sustentabilidade absoluta (AESA) que foram definidos.	●	●	●	○	○	●	●
C1 - Integrar métricas e indicadores de desempenho baseados em AESA no processo de gestão de contratos com fornecedores.	●	●	●	○	●	●	●
C2 - Monitorar o desempenho dos fornecedores e, com base nos resultados, criar planos de melhoria contínua para o seu desempenho ambiental absoluto.	●	●	●	○	●	●	●

A1 - Realizar uma avaliação crítica ao final do processo para verificar se os objetivos de sustentabilidade (AESAs) da compra foram alcançados.	●	●	●	●	●	●	●
A2 - Realizar uma análise crítica periódica da estratégia de compras para garantir que ela evolua e contribua para as metas de sustentabilidade absoluta da organização.	●	●	●	●	●	●	●

Fonte: elaborado pela autora.

Nota: Os princípios podem ser consultados no Quadro 6 (Seção 2.3.1) e as ações-chave da FP-AESA foram elaboradas pela autora.

Legenda: ● = relação forte; ○ = relação média; Δ = relação fraca

O FP-AESA, estruturado a partir desse procedimento metodológico, é apresentado detalhadamente na seção 4.4.1. Ademais, a metodologia adotada na avaliação dessa proposta por especialistas será apresentada na próxima seção.

3.3.6 Fuzzy Delphi Method (FDM)

O método Fuzzy Delphi (FDM) é uma abordagem que combina o método Delphi tradicional com a teoria da lógica *fuzzy* para codificar e analisar as respostas de especialistas. A partir da adoção da teoria dos conjuntos *fuzzy*, busca-se analisar de forma apropriada a subjetividade e as incertezas inerentes à avaliação desses participantes (Bui *et al.*, 2020).

Um diferencial relevante dessa abordagem é a possibilidade de aplicação em uma única rodada, o que dispensa a necessidade de forçar um consenso estrito entre os participantes. Além disso, o método permite que as opiniões dos respondentes sejam expressas de forma mais flexível em uma escala contínua, em detrimento dos valores booleanos do método Delphi tradicional (Ishikawa *et al.*, 1993).

Neste estudo, o FDM foi escolhido especificamente para capturar o ponto de vista dos especialistas sobre o FP-AESA. Para a operacionalização do método nesta pesquisa, os passos metodológicos foram adaptados de Stefano, Casaroto Filho e Freitas (2014).

Passo 1 – Planejamento, aplicação do questionário e validação dos dados

As questões que compõem o questionário foram elaboradas a partir da análise documental da norma ISO 20400, com foco específico nos princípios de sustentabilidade ambiental, como apresentado na seção 3.3.5. Para assegurar a validade e a compreensão do instrumento, realizou-se um pré-teste com três especialistas. O questionário foi refinado iterativamente para garantir a precisão terminológica das questões. A versão final consta no Apêndice A.

O perfil dos especialistas convidados considerou a multidisciplinaridade, uma característica como essencial para avaliar temas multifacetados (Westengen *et al.*, 2025), como as compras sustentáveis de alimentos. Tendo isso em mente, os seguintes critérios de inclusão foram estabelecidos para garantir um equilíbrio entre o conhecimento acadêmico e a experiência prática:

- Possuir titulação acadêmica em nível de Mestrado ou Doutorado.
- Possuir experiência como professor ou pesquisador na área de sustentabilidade, preferencialmente em avaliação ambiental, ou possuir experiência com processos de compras organizacionais.

Seguindo esses critérios, 26 especialistas foram convidados individualmente pela pesquisadora. O processo de engajamento resultou em uma taxa de resposta de 50% ($n=13$), conforme os resultados quantitativos detalhados no Capítulo 4 (Seção 4.4).

Ademais, procedeu-se a duas etapas de avaliação antes da organização dos resultados. A primeira visou assegurar a adequação do perfil dos respondentes ao objetivo da avaliação do FP-AESA. A segunda análise verificou a existência de linearização de respostas (*straight lining*).

Passo 2 – Organização e agregação dos Números Fuzzy Triangulares (NFTs)

A aplicação do questionário permitiu que os especialistas, de forma anônima em relação a seus pares, expressassem suas opiniões sobre o FP-AESA. O objetivo foi obter o julgamento do grau de importância de afirmações relativas à proposta, utilizando uma escala de 0 a 10, em um conjunto de indicadores (S).

Para esta pesquisa, com objetivo de facilitar a análise e interpretação das opiniões dos especialistas, os mesmos foram solicitados a fornecer diretamente os três valores que compõem o Número Fuzzy Triangular (NFT), que inclui três medidas: L_i , M_i , U_i , representando o valor mínimo, o valor modal e o valor máximo (Cheng; Lin, 2002) (Apêndice A).

A partir dessas respostas foi estruturado NFT para cada indicador i avaliado por todo especialista k , sendo representado como: $\text{NFT}_i = (L_i, M_i, U_i)$. O resultado da avaliação é denominado R_{ik} , $i \in S$, para todo indicador i avaliado por todo especialista k . A opção por essa abordagem é justificada por sua maior capacidade de capturar de forma precisa a opinião e, sobretudo, a incerteza individual de cada membro do painel.

Para organização e agregação das opiniões coletadas a partir dos questionários, optou-se pela agregação dos NFTs a partir média aritmética para estabelecer o "NFT médio" (*average fuzzy number*) do grupo (Cheng; Lin, 2002).

Passo 3 - Desfuzzificação para números *crisp*

O FDM adota estatísticas de triangulação para determinar a distância entre as avaliações dos especialistas. Por isso, após a agregação das avaliações dos especialistas os números *fuzzy* foram desfuzzificados para números *crisp* (Z_i), para, enfim, serem interpretados.

Como o uso dos métodos baseados em valores mínimos e máximos é sensível à dispersão máxima das opiniões, o que implica que perspectivas pessimistas ou otimistas podem

influenciar fortemente os resultados (Habibi; Jahantigh; Sarafrazi, 2015; Sarafrazi, 2015), este estudo adotou a média aritmética das médias dos valores mínimos (L_i), valores modais (M_i) e valores superiores (U_i), como apresentado na Equação 4.

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^n L_j + \sum_{j=1}^n M_j + \sum_{j=1}^n U_j}{3n} \quad (4)$$

Onde:

Z_i : Valor *crisp* final de uma variável i

L_i : Indica a média aritmética do valor mínimo de todos os valores atribuídos pelos especialistas à variável i

M_i : É a média aritmética de todos os valores atribuídos pelos especialistas à variável i

U_i : Indica a média aritmética do valor máximo de todos os valores atribuídos pelos especialistas à variável i

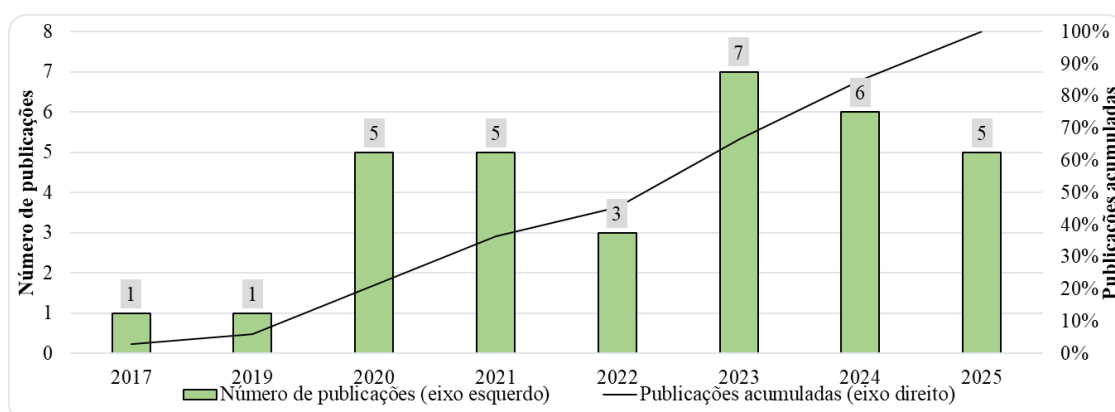
Os resultados para cada um dos procedimentos metodológicos são relatados no Capítulo 4.

4 RESULTADOS

4.1 REVISÃO EXPLORATÓRIA DA LITERATURA SOBRE AESA VOLTADA À PRODUÇÃO E CONSUMO DE ALIMENTOS

O Quadro 12 detalha o total de 33 estudos selecionados pela revisão exploratória sobre estudos de AESA aplicados à produção e consumo de alimentos. Destes, dois estudos (Chandrakumar *et al.*, 2019; Wolff; Gondran; Brodhag, 2017) foram identificados por meio da revisão de (Bjørn *et al.*, 2020a), conforme justificado na seção 3.3.3; os 31 restantes derivam da revisão pela autora em novembro de 2025 e atualização em fevereiro de 2026. Nota-se que a maior parte ($n=31$; 94%) foi publicada a partir de 2020, com um pico de sete publicações em 2023 (Figura 6).

Figura 6 - Distribuição temporal dos estudos selecionados ($n=33$)



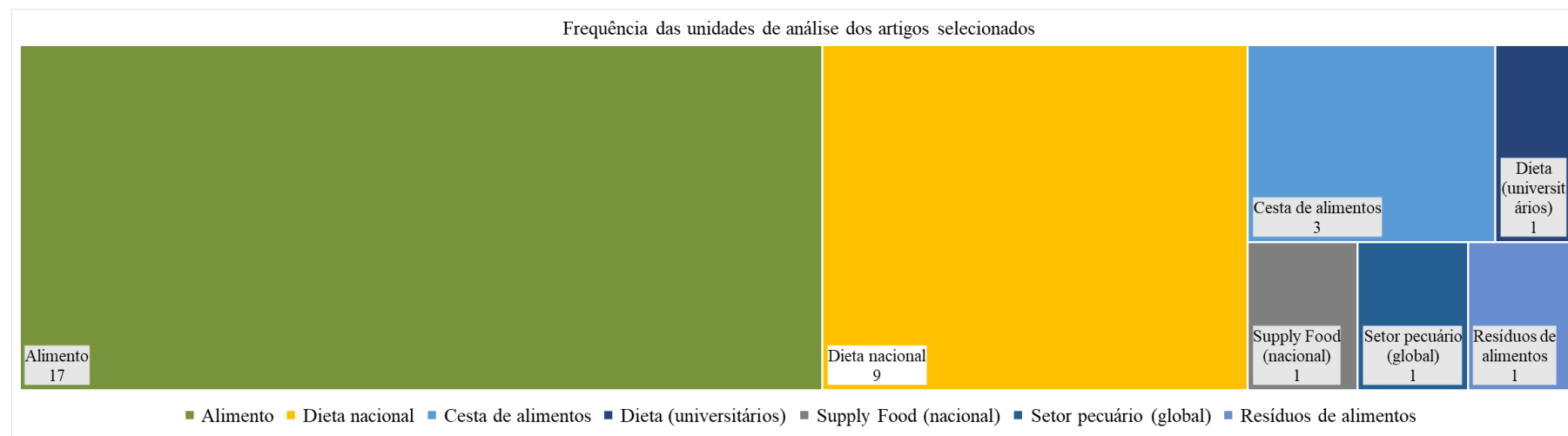
Fonte: elaborada pela autora.

Nota: Estudos adicionais podem ter sido publicados a partir de 14 de fevereiro de 2026, ou seja, após a conclusão desta revisão.

Dos 33 estudos analisados, 17 (52%) utilizaram alimentos como unidade de análise em estudos de caso. Nove (27%) avaliaram dietas em escala nacional abrangendo diferentes grupos populacionais, enquanto um estudo (3%) focou em dietas específicas em escalas menores (universitários de uma instituição de ensino). Adicionalmente, três publicações (9%) analisaram cestas ou portfólios de alimentos e um único estudo (3%) avaliou a sustentabilidade absoluta de resíduos alimentares no contexto municipal, como pode ser constatado na Figura 7, que apresenta as frequências por unidade analisada.

Geograficamente, as pesquisas concentram-se na Europa ($n=17$; 53%), seguida pelo Leste Asiático e Pacífico ($n=10$; 31%), com destaque para China e Paquistão. Apenas um estudo (Pasutto *et al.*, 2025) foi realizado para o contexto brasileiro. A pesquisa apresenta dados sobre o consumo de proteínas no Brasil, comparando-os aos da Europa e dos Estados Unidos para avaliar o impacto absoluto a partir da substituição do consumo de carnes por micoproteínas.

Figura 7 - Frequência das unidades de análise nos artigos selecionados (n=33)



Fonte: elaborada pela autora.

Cabe ressaltar que os estudos que utilizaram o conceito de SOS apenas para fins de discussão ou comparação, a partir de uma avaliação relativa e sem realizar uma alocação para termos absolutos, foram desconsiderados nesta análise. É o caso, por exemplo, de Li *et al.* (2024), que emprega o relatório de Willett *et al.* (2019) na discussão sobre os resultados. Da mesma forma, o trabalho de Uusitalo *et al.* (2018a) foi excluído por não apresentar seus resultados finais em termos de limites planetários. Também não foram selecionados artigos que utilizam o conceito de "capacidade de suporte", mas não apresentam conexão com o *framework* das PBs propriamente dito, como Lombardi *et al.* (2021). Estudos que analisam o consumo de alimentos como uma parcela da pegada de consumo também não foram considerados, como o estudo de Świąder, Szewrański e Kazak (2020), bem como os estudos voltados aos serviços ecossistêmicos, a exemplo de Aleissa e Bakshi (2023).

Dos 33 estudos selecionados, quatro apresentam novos métodos e utilizam sistemas alimentares como estudo de caso. Li *et al.*, (2024b) analisaram a produção de grãos na China para propor uma abordagem que integra a família de pegadas ambientais aos limites planetários, visando avaliar a sustentabilidade ambiental na produção de alimentos. Um novo princípio de compartilhamento, baseado no Atendimento das Necessidades Humanas (*Fulfilment of Human Needs - FHN*) ou suficientismo, foi proposto por Heide; Hauschild; Ryberg (2023), tomando como estudo de caso o consumo de amendoim, na Dinamarca.

Por sua vez, Bjørn *et al.* (2020c) utilizaram dados de fazendas de tomate nos cinco continentes para testar novos fatores de caracterização regionalizados para emissões de nitrogênio nos compartimentos de solo natural, água doce e águas costeiras. Adicionalmente, Bjørn *et al.* (2020b) apresentaram fatores de caracterização regionalizados para bacias hidrográficas, aplicados ao consumo de água para irrigação em 27 bacias de dez países. A tradução de fronteiras planetárias para níveis regionais, por meio de uma abordagem híbrida de AESA (Zhang *et al.*, 2022), é um tema recorrente na literatura sobre a produção de alimentos na China, como observado em Huang *et al.* (2020) e Feng *et al.* (2022), visando a realocação da produção interna de alimentos baseada em limites planetários regionais.

Quadro 12 – Estudos selecionados na revisão exploratória da literatura

Ordem	Referência	Escala de análise	Localidade	Método AESA	Referência da capacidade de suporte	Contabilidade Ambiental	Pegada ou Categoria de impacto	Princípio de compartilhamento
1	Wolff; Gondran; Brodhag (2017)	Cesta de alimentos	França	Bjørn e Hauschild (2015) e Doka (2016)	Bjørn e Hauschild (2015) e Doka (2016)	ACV (Agribalyse e ecoinvent)	CC, ODP, POF, AC, TEU, FEU, MEU, FRWTOX, LO, SE, WD	EPC + EV (FCE) + GF
2	Chandrakumar <i>et al.</i> (2019)	Alimento	Nova Zelândia	Doka (2016)	Meta climática de 2 graus	Carbon footprint	CC	GF EV AGRI-LAND CAL
3	Bjørn <i>et al.</i> (2020b)	Alimento: tomate para molhos ou extratos	Global	*	Adaptação de Steffen <i>et al.</i> (2015)	*	WU	GF + EV (GVA)
4	Bjørn <i>et al.</i> (2020c)	Alimento: tomate para molhos ou extratos	Global	*	Bjørn <i>et al.</i> (2016); CCME (2012) e Cosme e Hauschild (2016)	*	N (água doce e água costeira)	GF + EV (GVA)
5	Huang <i>et al.</i> (2020)	Alimentos: milho, trigo e arroz	China	***	Limites regionais para a China	Pegada de Escassez Hídrica (WSF)	WSF	EPC
6	Moberg <i>et al.</i> (2020)	Dieta nacional	Suécia	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV	CC, N, P, FWU, BL	EPC
7	Ridoutt <i>et al.</i> (2020)	Dieta nacional	Austrália	***	Rockström <i>et al.</i> (2009)	ACV Ridoutt e Navarro Garcia (2020)	LU: escassez de solo, impacto na biodiversidade e má nutrição (relacionada ao contexto produtivo do solo)	EPC

8	Karlsson Potter e Rööf (2021)	Alimento	Suécia	Não especificado	Willet <i>et al.</i> (2019)	Ridoult e Navarro Garcia (2020)	CC, WU, LU	EPC
9	Lucas, Guo e Guillén-Gosálbez, (2021)	Dieta nacional	Reino Unido	Ryberg <i>et al.</i> (2018)	Steffen <i>et al.</i> (2015)	ACV: (ecoinvent) Wernet <i>et al.</i> (2016) e ESU World Food (ESU-services Ltd. 2020)	CC CO2, CC EI, OA, OD, LU, WU, N, P, BI	GF + EV (FCE)
10	Ridoult <i>et al.</i> (2021)	Dieta nacional	Austrália	***	Rockström <i>et al.</i> (2009)	Pegada de Escassez de Água (Water Scarcity Footprint)	FWU	EPC
11	Sillman <i>et al.</i> (2021)	Alimento	Finlândia	Uusitalo <i>et al.</i> (2019)	Steffen <i>et al.</i> (2015)	ACV (CML)	CC, LU (ocupação), e FWU	EPC
12	Whitener <i>et al.</i> (2021)	Dieta (universitários)	Universidade da Califórnia (Estados Unidos)	Não especifica	Willett <i>et al.</i> (2019)	Jay <i>et al.</i> (2019)	CC, LU, N, P, FWU	EPC
13	Feng <i>et al.</i> (2022)	Alimentos: milho, trigo e arroz	Províncias chinesas e Shanxi e Mongólia Interior	Bottom-up	Limites regionais para a China	Estimou as pegadas hídrica e de carbono da produção agrícola e as dos insumos agrícolas	CC, FWU	***
14	Hallström <i>et al.</i> (2022)	Dieta nacional	Suécia	Não especifica	Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV adaptado de Moberg <i>et al.</i> (2020)	CC, LU, N, P, FWU, BL	EPC
15	Owsianiak <i>et al.</i> (2022)	Alimento: proteína microbiana (ração)	Bélgica	Ryberg <i>et al.</i> (2018)	Steffen <i>et al.</i> (2015)	ACV: (ecoinvent)	N, P	EPC + EV (FCE)
16	Ghani <i>et al.</i> (2023a)	Alimento	Paquistão	Ryberg <i>et al.</i> (2018)	Willett <i>et al.</i> (2019) e Wolff <i>et al.</i> (2017)	ACV (ReCiPe 2016)	CC, FEU, MEU, WU, LU, BI	GF EV

								AGRI-LAND
								CAL
17	Ghani <i>et al.</i> (2023b)	Alimento	Paquistão	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV (ReCiPe 2016)	CC, FEU, MEU, WU, LU	EPC + FCE
							MEU, FEU e WU: regionalizados	GF
								AGRI-LAND
18	Heide <i>et al.</i> (2023)	Alimento	Dinamarca	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	Stylianou, <i>et al.</i> (2021)	CC, LU, N, FWU	CAL
								NF (NUTRI)
								SC
19	Mahmood <i>et al.</i> (2023)	Alimento	Paquistão	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV (ReCiPe 2016)	CC, FEU, MEU, WU, LU	EPC + FCE
								GF
								AGRI-LAND
20	Kirwan <i>et al.</i> (2023)	Dieta nacional	Irlanda	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	Pegadas de água azul e pegada de carbono	CC, N, P, FWU	CAL
								EPC
21	Nuss <i>et al.</i> (2023)	Cesta de alimentos	Alemanha	PB-EF	PB normalizado por Crenna <i>et al.</i> (2019)	EF 3.0 method (EC-JRC, 2021)	Pegada de consumo	EPC
22	Lima <i>et al.</i> (2023)	Resíduos de alimentos	Helsingborg, Suécia	Ryberg <i>et al.</i> (2018)	Adaptado de Ryberg <i>et al.</i> (2021)	ACV (ReCiPe 2016)	CC, OD, LU, FWU, Acidificação terrestre	GF + EV (FCE)
23	Dutra <i>et al.</i> (2024)	Alimento	Global	Ryberg <i>et al.</i> (2018)	Steffen <i>et al.</i> (2015)	ACV (ReCiPe)	GWP, FFD, SMOG, ODP, ECO, WF, EP, AP, LU	EPC
24	Eberle e Mumm (2024)	Cesta de alimentos	Alemanha	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV (ecoinvent v3.6) e susDISH (Meier <i>et al.</i> 2014)	CC, FWU, BL	EPC

25	Goss e Sherwood (2024)	Oferta alimentar Nacional (Food Supply)	Reino Unido	***	Rockström <i>et al.</i> (2009),	Frankowska <i>et al.</i> (2019a, b) Poore e Nemecek, (2018); Springmann <i>et al.</i> (2018)	CC, WU, LU	EPC
26	Li <i>et al.</i> (2024b)	Alimentos: grãos	China	Método híbrido (Chen <i>et al.</i> , 2021)	Limites regionais para a China	Pegada hídrica; uso da terra e carbono	Pegada hídrica; uso da terra e carbono	**
27	Li <i>et al.</i> (2024c)	Setor pecuário global	Global	***	Springmann <i>et al.</i> (2018) e Willett <i>et al.</i> (2019)	Análise de Insumo-Produto Multirregional (MRIO) (Hong <i>et al.</i> , 2022; Meng <i>et al.</i> , 2019; Feng <i>et al.</i> , 2019)	CC, MP, LU. FWU, P. N	****
28	Shi <i>et al.</i> (2024)	Dieta nacional e a produção agregada em nível nacional e provincial.	China	Bottom-up	Limites regionais para a China (adaptados de Hoekstra e Mekonnen, 2012; Hu <i>et al.</i> , 2020)	Pegada hídrica	FWU	***
29	Jacobsen <i>et al.</i> (2025)	Dieta nacional	Suécia	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	Pegadas ecológicas (Röös <i>et al.</i> 2025)	CC, FWU, N, P, LC, BL	EPC
30	Kyttä <i>et al.</i> (2025a)	Alimento	Finlândia	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV (ReCiPe 2016)	CC, WU, MEU, FEU, LU, BL	EPC
31	Kyttä <i>et al.</i> (2025b)	Alimento	Finlândia	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV (ReCiPe 2016)	CC, FWU, N, P, LC, BL	EPC (CAL)
						Agri-footprint database World Food LCA Database		EPC (NUTRI)
32	Lindroos <i>et al.</i> (2025)	Dieta nacional	Suécia	***	Willett <i>et al.</i> (2019)	Sustainability Assessment of	CC, LU, N, P, uso de pesticidas,	EPC

						Foods And Diets (SAFAD) tool (Röös <i>et al</i> 2025, SAFAD 2024) Moberg <i>et al.</i> (2020)	FWU, BL, emissões de amônia		
33	Pasutto <i>et al.</i> (2025)	Alimento	Brasil, Europa e EUA	PB-EF e método adaptado para Uso da Terra	Sala <i>et al.</i> (2020) Willett <i>et al.</i> (2019)	ACV (Environmental Footprint e ReCiPe 2016 Midpoint)	CC, FEU, MEU e WU LU (ReCiPe)	+	—

Fonte: elaborada pela autora.

Notas: As publicações seguem ordenação temporal crescente. * Propõe novos fatores de caracterização (FC) para regionalização dos limites planetários.

** Segue o método híbrido (*top-down* e *bottom-up*) proposto por Chen *et al.* (2021) *** Não especificou ou não foi possível enquadrar aos métodos identificados por Bjørn *et al.*, 2020), Paulillo *et al.* (2024, 2026). **** Normalização e Agregação de dados. + Não alocou. EPC: Igualitário *per capita*. EPC (CAL): Igualitário *per capita* com base na contribuição energética em kcal. EPC (NUTRI): Igualitário *per capita* com base na contribuição nutricional. EV (FCE): Econômico (despesa de consumo final/FCE). EV (GVA): Econômico (valor adicionado bruto/VAB). GF: Direito adquirido (status quo). SL: Estilo de vida de suficiência. NF: Satisfação das necessidades / suficientismo. AGRI-LAND: alocação por área de plantio/cultivável. SC: Consumo sustentável atribuído a partir de quotas médias das 19 categorias de consumo ajustadas à parcela atribuída à alimentação (%) (Willett *et al.*, 2019). FWU: Uso da água doce; CC: Mudanças climáticas; MEU: Eutrofização marinha; FEU: Eutrofização, água doce; N: Uso de nitrogênio; P: Uso de fósforo; BL: perda de biodiversidade; LC: Mudança no uso da terra.

A principal referência de limites planetários utilizada foi o relatório da Comissão EAT-Lancet (Willett *et al.*, 2019), presente em 48% dos trabalhos ($n=16$). Observa-se que diversos estudos empregam múltiplas capacidades de suporte, tais como Bjørn e Hauschild (2015), Doka (2016) e Steffen *et al.* (2015), além de normalizações propostas por Sala *et al.* (2017) e Crenna *et al.* (2019), adaptações de Ryberg *et al.* (2021) e metas do IPCC voltadas ao *Net Zero Emissions*.

Quanto às características metodológicas, o enquadramento no método AESA não é trivial, visto que não é uma prática comum declarar explicitamente a metodologia utilizada, especialmente por seu caráter recente. Entre os estudos que adotaram o método PB-LCIA (Ryberg *et al.*, 2018), destacam-se: Lucas, Guo e Guillén-Gosálbez, (2021), sobre a dieta no Reino Unido; Ghani *et al.* (2023), que avaliou a ecoeficiência absoluta da produção de arroz no Paquistão; Lima *et al.* (2023), voltado ao tratamento de resíduos alimentares; e por Dutra *et al.* (2024) para analisar a utilização de microalgas como fonte de alimentação.

Já o método PB-EF (Sala *et al.*, 2020) foi selecionado por Nuss, Sanye-Mengual e Sala (2023) para analisar a cesta de alimentos na Alemanha, e por Pasutto *et al.* (2025) para comparar o desempenho absoluto da substituição de proteínas convencionais por micoproteínas. Por fim, a abordagem de Doka (2016) serviu como base para Chandrakumar *et al.* (2019) na avaliação da produção de kiwi, maçã e vinho na Nova Zelândia.

No que tange à contabilidade ambiental, a ACV foi o principal método em 52% dos estudos ($n=17$). Em seguida, situam-se as pesquisas que utilizaram indicadores derivados diretamente de pegadas ambientais ($n=9$; 27%), baseados em dados da literatura ou em ferramentas como a *Sustainability Assessment of Food and Diets* (SAFAD) (Röös *et al.*, 2025), que reporta pegadas ecológicas, indicadores de bem-estar animal e uso de antibióticos com foco em países europeus.

Quanto às lógicas adotadas para a partilha do espaço operacional seguro, o princípio igualitário *per capita* (EPC) foi utilizado como única forma de distribuição por 17 estudos (52%), a exemplo de Moberg *et al.* (2020). A repartição pela população global também ocorre de forma combinada a outros critérios, como Valor Econômico (EV), Calórico (CAL) e Nutricional (NUTRI). Outra abordagem de destaque nos artigos analisados é o Direito Adquirido (*Grandfathering* - GF), combinado ao valor econômico por meio de *proxies* como a Despesa de Consumo Final (FCE) e o Valor Adicionado Bruto (VAB).

Observa-se o predomínio de estudos que adotam princípios de justiça distributiva igualitária e utilitarista, embora existam esforços recentes para desenvolver alocações baseadas no suficientismo, conforme proposto por Heide; Hauschild; Ryberg (2023).

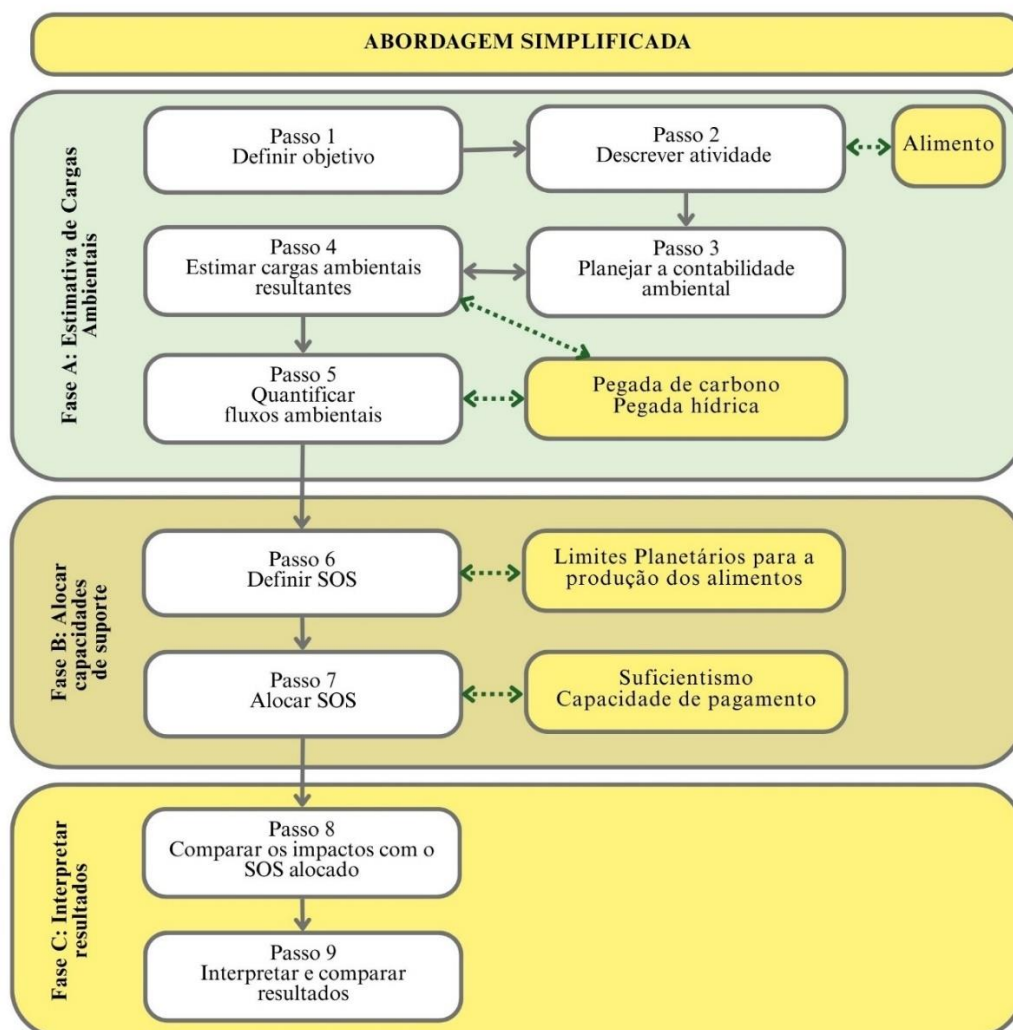
Em relação ao uso de *proxies* que consideram a utilidade do alimento em termos energéticos ou nutricionais, identificaram-se os estudos de Chandrakumar *et al.* (2019); Ghani *et al.* (2023a, 2023b); Mahmood, Ghani e Gheewala (2023); Heide, Hauschild e Ryberg (2023) e Kytä *et al.* (2025). Destes, os dois últimos foram os únicos a abordar as características nutricionais sob a ótica da contribuição específica do alimento avaliado.

Não foram identificados estudos que integrem a AESA aos processos de compras sustentáveis de alimentos. Até o momento, a pesquisa de Wolff, Gondran e Brodhag (2017) constitui o trabalho que mais se aproxima do contexto de compras organizacionais, ao avaliar o portfólio de produtos comercializados por uma grande rede varejista francesa. Dessa forma, reforça-se a existência de lacuna na literatura científica quanto à aplicação de limites planetários como critério de decisão em processos de compras sustentáveis de alimentos.

4.2 ESTUDO DE CASO 1 - APLICAÇÃO DA AESA NOS PRINCIPAIS ALIMENTOS ADQUIRIDOS NO BRASIL A PARTIR DE ABORDAGEM SIMPLIFICADA (*SCREENING APPROACH*)

A AESA aplicada aos principais alimentos adquiridos no Brasil foi organizada em três fases interdependentes (Figura 8), a partir de uma abordagem simplificada adaptada da estrutura proposta por Bjørn *et al.* (2025).

Figura 8 - Etapas da AESA aplicada nos principais alimentos adquiridos no Brasil usando abordagem simplificada



Fonte: adaptada de Bjørn *et al.* (2025).

As adaptações à estrutura recomendada no Guia JRC 142099 de Bjørn *et al.* (2025) estão concentradas na fase inicial do método, que é voltada na quantificação das cargas ambientais e que foram posteriormente comparadas à cota ambiental segura alocada para cada alimento avaliado.

O primeiro passo consistiu em definir o objetivo da AESA (Etapa 1) e descrever a atividade, delimitando a Unidade Funcional (UF) e o horizonte temporal (Etapa 2). No planejamento da contabilidade ambiental (Etapa 3), foram definidos os indicadores ambientais (pegadas ambientais) disponíveis para os alimentos adquiridos no Brasil e alinhadas à estruturado SOS Food (Rockström *et al.*, 2025). A etapa seguinte compreendeu a quantificação

das pegadas de carbono e hídrica dos principais alimentos (Etapa 4) consumidos no Brasil (IBGE, 2019), para subsidiar a estimativa final das cargas ambientais (Etapa 5).

Na fase seguinte, de compartilhamento do SOS Food, os limites globais foram traduzidos para a escala do objeto de estudo (os alimentos consumidos no Brasil). Inicialmente, foram definidos os Espaços Operacionais Seguros globais para os indicadores de impacto selecionados: pegada de carbono e pegada hídrica (Etapa 6). Em seguida, esses limites foram alocados para o estudo de caso (Etapa 7), a partir de princípios de compartilhamento distintos para fins de análise de sensibilidade conforme os parâmetros de entrada na partilha do SOS. Esta fase resultou na aplicação de equações de alocação que definem o aSOS para os principais alimentos adquiridos no Brasil em 2018.

Na parte final da AESA, os resultados são integrados e interpretados. Na Etapa 8, foram comparadas as cargas ambientais estimadas na Fase A com as capacidades de suporte alocadas na Fase B, o que permitiu o cálculo da Taxa de Sustentabilidade Absoluta (*Absolute Sustainability Ratio* - ASR). A interpretação final (Etapa 9) classificou a aquisição de cada alimento: ele é considerado sustentável quando ($ASR \leq 1$) e insustentável quando ($ASR > 1$). Nesta fase, discutem-se as implicações dos diferentes princípios de compartilhamento adotados, avaliando a robustez dos resultados.

A primeira etapa consistiu na seleção dos indicadores de impactos ambientais (pegadas) associados aos alimentos consumidos no Brasil, utilizando as referências brasileiras disponíveis na quantificação do impacto ambiental da dieta nacional.

4.2.1 Passo 1 - Objetivo da AESA

O objetivo principal da AESA foi avaliar a sustentabilidade ambiental absoluta dos principais alimentos adquiridos (vide Tabela 3), em 2018, no Brasil, segundo a Pesquisa de Orçamentos Familiares (IBGE, 2019). E assim identificar quais PBs da produção e consumo de alimentos foram transgredidos, em que medida, e comparar esses resultados a partir da aplicação de diferentes éticas normativas de distribuição do espaço seguro.

4.2.2 Passo 2 - Descrição da atividade e Unidade Funcional

Foram selecionados para AESA uma cesta com o total de 16 alimentos (Tabela 3), que representam os mais adquiridos nos domicílios brasileiros, segundo a Pesquisa de Orçamentos

Familiares (POF) 2017-2018 (IBGE, 2019). Até o momento (janeiro de 2026), trata-se da referência mais atual e robusta sobre o consumo de alimentos no Brasil.

Tabela 3 - Aquisição alimentar domiciliar *per capita* anual, segundo os produtos selecionados - Brasil - 2017/2018

Alimento	Aquisição alimentar domiciliar anual (kg) POF 2017-2018
Arroz	19,763
Feijão	5,908
Cebola	3,104
Tomate	4,209
Batata inglesa	4,017
Banana	7,078
Laranja	4,299
Farinha de mandioca	2,332
Farinha de trigo	2,229
Macarrão	3,117
Pão Francês	9,491
Carnes Bovinas	13,352
Carnes Suínas	4,880
Frango	12,240
Ovos	3,328
Leite	25,808

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Trabalho e Rendimento, Pesquisa de Orçamentos Familiares 2017-2018.

Nota: As quantidades de produtos adquiridos na forma líquida foram transformadas em kg, considerando-se volume igual a peso. POF: Pesquisa de Orçamento Familiar.

Para estimar o espaço ambiental seguro para os alimentos adquiridos ao longo de um ano, definiu-se como escopo temporal o ano completo de 2018, embora a pesquisa do IBGE tenha sido realizada de julho de 2017 a julho de 2018.

4.2.3 Passo 3: Planejamento da contabilidade ambiental

Nesta análise, optou-se por uma versão simplificada de avaliação ambiental, utilizando pegadas de alimentos como fonte dos dados, assim como utilizado em pesquisas anteriores, como Karlsson Potter e Rööös (2021) e Kirwan *et al.* (2023).

Para os alimentos adquiridos no Brasil foram utilizadas como fonte de impactos ambientais as pegadas de carbono (CF) e hídrica (WF) disponíveis no banco de dados "Pegadas dos alimentos e das preparações culinárias consumidos no Brasil" (Garzillo *et al.*, 2019). O primeiro indicador mede as emissões totais de gases de efeito estufa (GEE) sob uma perspectiva de ciclo de vida (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019). Enquanto o segundo estima a quantidade de água azul utilizada, ambas calculadas por quilograma (kg) de alimento consumido. Ressalta-se que, neste estudo de caso, esses indicadores foram relacionados aos itens alimentares da forma como são adquiridos, isto é, antes de qualquer preparo culinário.

4.2.4 Passo 4: Quantificação dos fluxos ambientais

Para a quantificação dos fluxos ambientais foram utilizados os fatores disponíveis na base de dados "Pegadas de alimentos e das preparações culinárias consumidas no Brasil" (Garzillo *et al.*, 2019). De acordo com os autores, as pegadas foram calculadas a partir da literatura científica e de Declarações Ambientais de Produtos (EPD) para alimentos com produção convencional (excluindo a produção orgânica) e fronteira do sistema da fazenda até o ponto de venda.

4.2.5 Passo 5: Estimativa das cargas ambientais resultantes

As emissões de GEE e consumo de água dos alimentos foram calculados com base nos dados de consumo por domicílio no Brasil estimados a partir do POF 2017-2018 (IBGE, 2019). Nessas quantidades foram aplicados os fatores de CF e WF (Garzillo *et al.*, 2019) para estimar o total de emissões de GEE e consumo de água para cada item alimentar por domicílio, no Brasil, no ano de 2018. Em seguida, foram calculados os CF e WF *per capita*, considerando o tamanho médio da unidade de consumo igual a 3 pessoas (IBGE, 2019).

4.2.6 Passo 6: Definição dos Espaços Operacionais Seguros (SOSs) globais

Nesta etapa, foram estabelecidos os valores de referência globais para a sustentabilidade dos sistemas alimentares, conforme os limites globais (SOS Food) atualizados em 2025 pela Comissão EAT-Lancet (Rockström *et al.*, 2025), que seguem apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores do PB adotados no estudo como SOS Food e correspondência com CF e WF

Pegada	Sigla	Unidade	Processo do sistema terrestre (SOS Food)	Variável de controle (SOS Food)	Limite Seguro (SOS Food)
Pegada de carbono (CF)	WU	gCO ₂ e/kg	Mudanças climáticas (Concentração de CO ₂ atmosférico)	Emissões de GHG	5 Gt CO ₂ -eq por ano
Pegada hídrica (WF)	CC	litros de H ₂ O/kg	Uso de água doce (Global) Proveniente do consumo	Uso de água doce	2.000 km ³ por ano

Fonte: elaborado pela autora a partir de dados de Garzillo *et al.* (2019) e Rockström *et al.* (2025)

De acordo com dados atualizados pela Comissão EAT-Lancet o sistema alimentar contribui com 30% do total das emissões antropogênicas (16 a 17,7 Gt CO₂-eq por ano) e entre 1.200 a 1.800 km³ por ano do total da água doce consumida, incluindo águas subterrâneas. Com a adoção do SOS Food como referência, a avaliação é realizada usando como parâmetro a meta de consumo sustentável para alimentar 10 bilhões de pessoas em 2050 (Rockström *et al.*, 2025; Willett *et al.*, 2019).

Como apresentado na Tabela 4, as unidades do CF estão harmonizadas com o processo de sistema terrestre Mudanças Climáticas e a variável de controle de emissões de GEE dos limites planetários definidos pelo SOS Food. A pegada WF também está alinhada com o processo do uso de água doce do SOS Food da Comissão EAT-Lancet, e ambos adotam como padrão o *Water Footprint Network* (WFN) (Rockström *et al.*, 2025), e baseiam-se no volume estimado de água doce que estará disponível para uso humano, mantendo um volume e qualidade mínimos de água para sustentar as funções ambientais das bacias hidrográficas (Rockström *et al.*, 2025; Willett *et al.*, 2019).

Embora as pegadas ambientais de Garzillo *et al.* (2019) tenham sido estimadas a partir de dados de publicações científicas e Declarações de Desempenho Ambiental (EPD), não há garantias de que o método *Environmental Footprint* (EF), método de AICV recomendado pela

União Europeia para EPDs, tenha sido aplicado a todas as pegadas estimadas. Logo, a adoção direta do PB EF (Sala *et al.*, 2020) como parâmetro de capacidade de suporte global para fins comparativos requer cautela. Além disso, existe um desalinhamento na pegada hídrica, pois o método EF adota o consumo de água ponderado pela privação (método AWARE), enquanto as fontes adotadas por Garzillo utilizam o indicador volumétrico do consumo de água doce (Mekonnen; Hoekstra, 2011).

De forma alinhada com o escopo geográfico dos impactos ambientais (CF e WF) e à globalização da cadeia de valor e de suprimentos dos sistemas alimentares, foi considerado que o SOS Food é um recurso de comum global, ou seja, todos os seres humanos devem, *a priori*, compartilhar do espaço seguro para a produção e consumo de alimentos independente da sua localização geográfica (Ryberg *et al.*, 2020).

4.2.7 Passo 7: Alocação do SOS para os alimentos adquiridos no Brasil

Nessa etapa são definidas as parcelas atribuídas para cada alimento do SOS Food global, a partir da aplicação da Equação 5.

$$aSOS_{BR,food}(t) = SOS\ Food_{global} \times PC \quad (5)$$

Onde:

- $aSOS_{BR,food}(t)$: Espaço Operacional Seguro Alocado (aSOS) para aquisição do alimento no ano de 2018 no Brasil;
- $SOS\ Food_{global}$: Fronteiras para os sistemas alimentares (PB Food Global, Rockström *et al.*, 2025) (vide Tabela 4); e
- PC : Princípio de compartilhamento para alocação do espaço seguro para o alimento adquirido (vide Apêndice D).

A definição da parcela do SOS Food global destinada ao direito de emitir GEE e consumir recursos (água doce) pelos alimentos adquiridos foi realizada a partir da aplicação de diferentes éticas normativas, que são documentadas no Apêndice D. Para fins de transparência, a documentação foi elaborada a partir das sete diretrizes recomendadas por Ryberg *et al.* (2020), para garantir a replicabilidade dos princípios de compartilhamento em AESA.

Foram aplicadas duas formas de compartilhamento do espaço seguro baseadas na função nutricional com ênfase no benefício proporcionado pelo alimento ao indivíduo. O primeiro passo consistiu na divisão do SOS global entre a população mundial, seguindo o princípio igualitário *per capita* (EPC) como recomendado por Ryberg *et al.* (2020) para o *downscaling* para escala de produtos. Esse princípio considera que todo indivíduo tem direito à mesma cota da capacidade de suporte (Bjørn *et al.*, 2025). Na sequência, atribuiu-se ao SOS *per capita* à fração calórica fornecida pelo alimento em relação à ingestão média recomendada para um indivíduo adulto, método proposto por Goss e Sherwood (2024) para a avaliação de refeições e adotado por Freitas *et al.* (em preparação). Nessa etapa foi aplicado o princípio do suficientismo (SL), que é baseado no fornecimento energético dos alimentos, e fundamenta-se na premissa de que a nutrição é uma necessidade básica, ou seja, todos devem ter acesso a um limiar para um nível mínimo de bem estar (Duus-Otterstrom, 2024). Para essa alocação, o orçamento ambiental global também foi dividido igualmente entre a população mundial e, subsequentemente, a cota da alimentação foi estabelecida a partir da proporção dos macronutrientes, vitaminas e minerais fornecidos pelo alimento, a partir de método adaptado de Heide, Hauschild e Ryberg (2023).

O cálculo da média dos nutrientes (Ac) foi obtido nas Tabelas de Ingestão Diária de Referência (IDR) recomendadas para adultos no Brasil (BRASIL; Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2003). Os dados nutricionais dos alimentos foram extraídos da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA, 2025), sendo que as equações encontram-se detalhadas no Apêndice D.

A outra lógica de compartilhamento aplicada foi a *Ability to pay* (capacidade de pagamento) baseada no método de compartilhamento proposto por Hjalsted *et al.* (2021). De acordo com esse princípio, o SOS global é atribuído inversamente à riqueza do país, considerando a menor capacidade financeira de reduzir os impactos. Esse conceito segue o *Principle of Common but Differentiated Responsibilities* (CBDR), que reconhece que todos os países têm o dever de proteger o meio ambiente, mas os países ricos têm uma obrigação maior devido à sua capacidade financeira e tecnológica, assegurando que o fardo da mitigação não recaia desproporcionalmente sobre os mais vulneráveis (Honkonen, 2009).

Para essa partilha foram utilizados três indicadores econômicos, o Produto Interno Bruto (PIB), a Despesa de Consumo Final (FCE) e Valor Adicionado Bruto (VAB) do Brasil e do mundo, no ano de 2018, e o fator de escala α proposto por Hjalsted *et al.* (2021). Os valores de referência foram extraídos do WORLD BANK (2025), COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab) (2025), PROCON-SP (2025), IEA (2018) e DIEESE (2025).

Adicionalmente, foi adotado o princípio do igualitarismo, de forma que os limites foram ajustados para serem iguais à população global em 2018 (7,7 bilhões de pessoas) (ONU; Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, 2025). Além disso, o uso de limites *per capita* iguais também permite uma comparação direta entre o consumo no país e em outros países, independentemente da população (Moberg *et al.*, 2020).

4.2.8 Passo 8: Comparação e cálculo da taxa de sustentabilidade

Nesta etapa, foi avaliada a sustentabilidade absoluta dos principais alimentos adquiridos pelos lares brasileiros em 2018 a partir da comparação entre o orçamento disponível (aSOS) e as pegadas de carbono e hídrica.

O cálculo foi realizado para cada pegada ambiental e para cada princípio de alocação testado, conforme a Equação 1 e utilizando como referência valores *per capita* do ano de 2018.

4.2.9 Passo 9: Interpretação e Análise de Sensibilidade

Para interpretação dos resultados da parcela segura destinada à aquisição de alimentos no Brasil sob diferentes formas de repartição, foram utilizadas as Equações 2 e 3 (vide seção 2.2) para determinar se a atividade opera dentro do espaço operacional seguro ou ultrapassa o limite planetário.

Adicionalmente, foram calculadas as taxas de sustentabilidade a partir do princípio baseado em nutrição adotando como parâmetro para mudanças climáticas o limite definido pelo método PB EF (Sala *et al.*, 2020), que utiliza a normalização dos resultados da fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (LCIA) da ACV. Também foi aplicada a taxa de consumo sustentável (Heide; Hauschild; Ryberg, 2023) estimada em 73,42% para mudanças climáticas, que consiste na derivação do SOS Food (EAT-Lancet) sobre o PB global normalizado por Sala *et al.* (2020).

Ainda como análise de sensibilidade da regra de alocação baseada em conteúdo energético dos alimentos foram comparados os resultados a partir de 2.000 kcal (*baseline*), padrão adotado na rotulagem de alimentos no Brasil (BRASIL; Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2003), com 2.400 kcal, valores adotados como referência na dieta da Comissão EAT-Lancet (Rockström *et al.*, 2025).

4.2.10 Resultados da AESA sobre os principais alimentos adquiridos no Brasil

4.2.10.1 Impacto da escolha de critérios de alocação na sustentabilidade absoluta no contexto da aquisição de alimentos

Como o espaço atribuído para o alimento é fundamental para definir o índice de sustentabilidade absoluta, foram comparados os resultados obtidos a partir de diferentes princípios de compartilhamento (Figuras 9 e 10).

O espaço operacional seguro baseado nos limites globais para os sistemas alimentares pela Comissão EAT-Lancet (Rockström *et al.*, 2025) para alimentação *per capita* anual, adotando o princípio igualitário *per capita* (EPC), foi calculado em 646,84 kgCO₂e, o que corresponde a uma cota diária de 1,77 kgCO₂e para cada indivíduo. Para o consumo de água doce, o SOS *per capita* anual foi estimado em 258,74 m³ de água, o que corresponde a um limite diário de aproximadamente de 708 litros de água diários destinados à produção e consumo de alimentos.

As maiores porções do espaço seguro foram alocadas pelo princípio igualitário *per capita* (EPC), seguido pela partilha por meio de valores econômicos (EV). A exceção foram os alimentos com maior contribuição calórica, como o leite e o arroz, que receberam fatias superiores aos demais itens quando adotada uma regra de distribuição baseada no perfil energético do alimento.

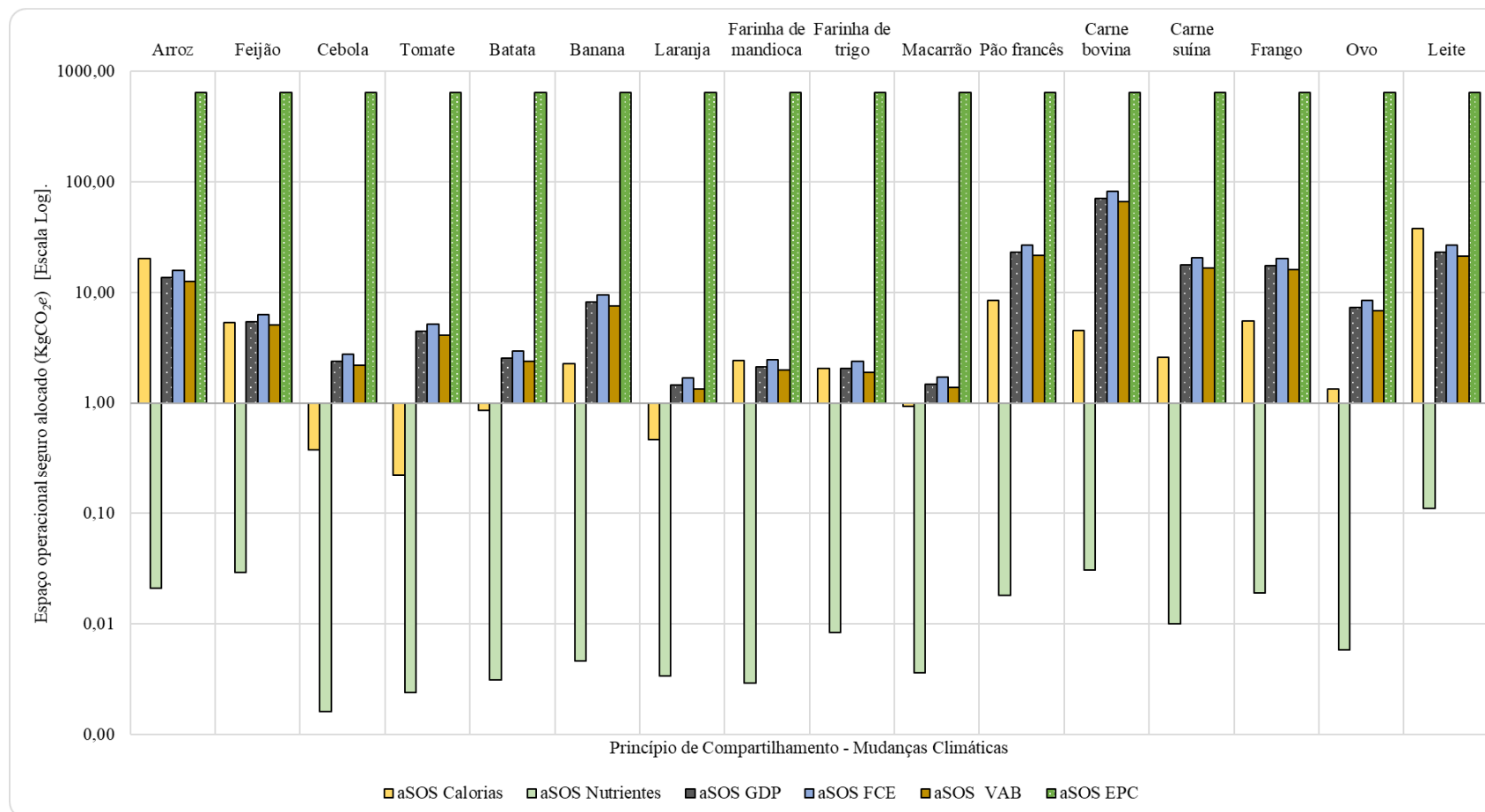
Dos princípios baseados em indicadores econômicos, a despesa (FCE) foi a que destinou mais espaço para os alimentos. Isso ocorreu em razão do fator de escala (Hjalsted *et al.*, 2021) estar atrelado à proporção entre o indicador do Brasil e o Global, que em termos de despesa de consumo final é menor que a relação do PIB e do VBA. Em geral, as porções atribuídas usando a valoração econômica foram próximas, com o favorecimento aos alimentos que representam maior despesa para a população brasileira, como a carne bovina, pão francês e o leite.

A repartição baseada em nutrientes a partir do método adaptado de Heide; Hauschild; Ryberg (2023) destinou uma aSOS menor para todos os alimentos analisados. Para essa alocação, o leite apresentou o maior espaço por possuir, dentre todos os alimentos analisados, o maior fator de contribuição média (6,32%) considerando macronutrientes, vitaminas e minerais. É importante destacar que para atingir a cota individual diária de 1,77 kgCO₂e seria necessário um alimento “completo” que fornecesse sozinho as proporções e quantidades necessárias para sustentar um adulto.

Quando utilizado o princípio baseado no perfil nutricional, o leite, a carne bovina e o feijão receberam os maiores aSOS (0,1; 0,03 e 0,02 kgCO_{2e} e 0,04; 0,0123 e 0,117 m³ de água, respectivamente).

De maneira geral, o leite e o arroz foram os alimentos que receberam a maior parcela do SOS sustentável, independentemente do tipo de princípio normativo adotado. As cotas mais altas foram atribuídas à carne bovina para o GVA, FCE e VBA (70, 82 e 66 kgCO_{2e} e 28, 32 e 26 m³ de água, respectivamente).

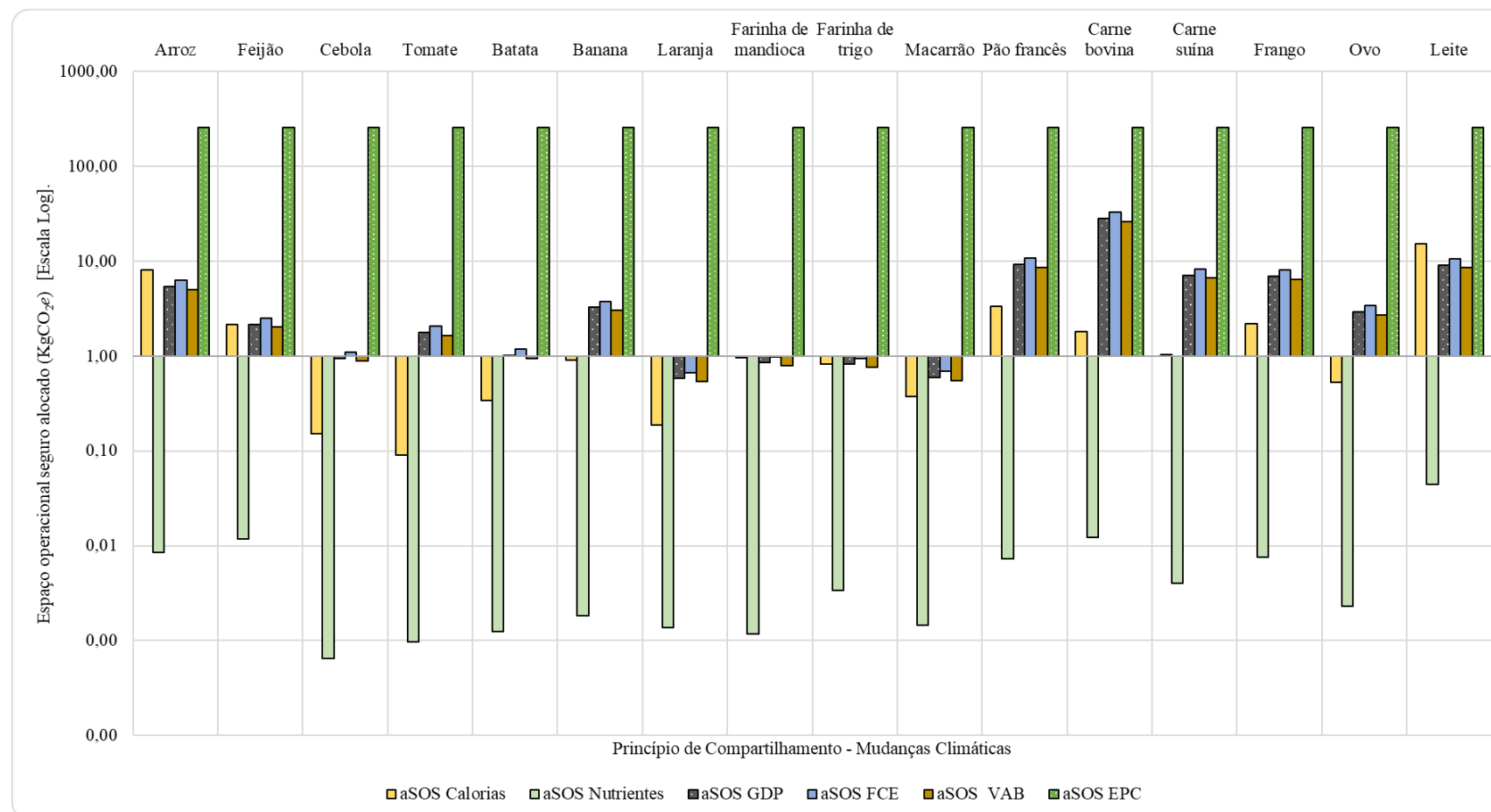
Figura 9 - aSOS em Mudanças Climáticas: Alocação para Alimentos no Brasil (2018) em kg CO₂ eq



Fonte: elaborada pela autora.

Nota: aSOS representa o espaço alocado para o alimento no limite seguro para os sistemas alimentares (SOS Food, Rockström *et al.*, 2025). Os princípios de compartilhamento são a SOS EPC (igualitário *per capita*), aSOS Calorias; a SOS Nutrientes; a SOS GDP (baseado no Produto Interno Bruto); a SOSFCE (baseado na Despesa de Consumo Final) e aSOS VAB (baseado no Valor Agregado Bruto).

Figura 10 - aSOS em uso de água doce: Alocação para Alimentos no Brasil (2018) em m³H₂O



Fonte: elaborada pela autora.

Nota: aSOS representa o espaço alocado para o alimento no limite seguro para os sistemas alimentares (SOS Food, Rockström *et al.*, 2025). Os princípios de compartilhamento são a SOS EPC (igualitário *per capita*), aSOS Calorias; a SOS Nutrientes; a SOS GDP (baseado no Produto Interno Bruto); a SOSFCE (baseado na Despesa de Consumo Final) e aSOS VAB (baseado no Valor Agregado Bruto).

4.2.10.2 Desempenho dos alimentos mais consumidos no Brasil frente aos limites planetários dos sistemas alimentares

As Figuras 11, 12 e Tabela 5 comparam as taxas de sustentabilidade absoluta para os alimentos mais adquiridos pelos lares brasileiros, usando como referência os limites planetários definidos pela Comissão EAT-Lancet para os sistemas alimentares (Rockström *et al.*, 2025).

Em relação aos limites de emissões de GEE, os alimentos que apresentaram resultados insustentáveis para todas as formas de repartição foram as carnes bovina, suína e de frango (Figura 11). Dentre todos os itens avaliados, a carne bovina foi a que apresentou os índices de ASR mais elevados de transgressão (Calorias: 26,6; Nutrientes: 10,7; PIB: 1,69; FCE: 1,45 e VAB: 1,81). O arroz foi classificado como insustentável em quatro tipos de alocação, com exceção para a divisão baseada na contribuição calórica (ASR: 0,8). Por sua vez, o ovo foi classificado como insustentável apenas nas alocações que consideraram características dos alimentos, como a contribuição energética e os macronutrientes, vitaminas e minerais (ASR: 2,81 e 1,76, respectivamente).

Quanto ao limite planetário de consumo de água (Figura 11), a carne bovina transgrediu o índice de sustentabilidade em todas as formas de alocação comparadas (ASR Calorias: 44,88; ASR Nutrientes: 18,02; ASR GDP: 2,84; ASR FCE: 2,45 e ASR VAB: 3,05). Para essa fronteira, os alimentos cujos impactos são superiores à cota segura alocada independentemente do tipo de princípio de compartilhamento adotado foram a carne bovina, carne suína, frango e macarrão. O feijão foi classificado como insustentável, frente aos limites planetários, nos princípios baseados na capacidade de pagamento: ASR PIB: 2,96; FCE: 2,56 e VAB: 3,18. O ovo apresentou taxas de sustentabilidade absoluta superiores a 1 (insustentáveis) quando aplicado os critérios de compartilhamento baseados em energia e nutrientes.

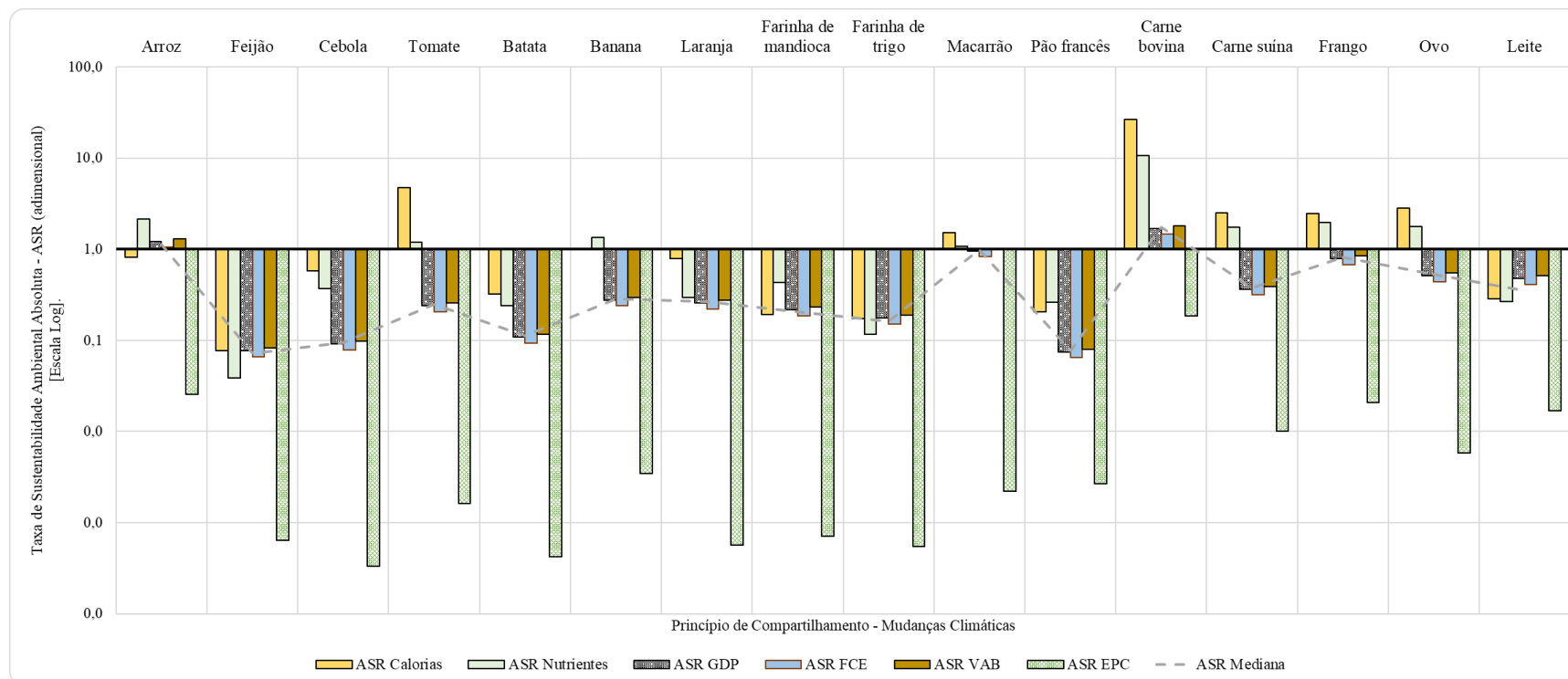
Quando adotado o princípio igualitário *per capita* (EPC), como essa abordagem atribui o maior orçamento para a aquisição de alimentos (vide figuras 11 e 12), todos os alimentos foram classificados como sustentáveis, inclusive a carne bovina, tanto para mudanças climáticas como para uso da água.

Como destacado na Tabela 5, os resultados indicam que a transgressão dos limites ambientais é mais acentuada no uso da água do que nas mudanças climáticas. No que diz respeito ao consumo de água doce, todos os alimentos avaliados foram classificados como insustentáveis em pelo menos um dos critérios de alocação comparados.

Já os resultados para mudanças climáticas são mais favoráveis: metade dos 16 alimentos analisados (50%) foi classificado como sustentável em todos os princípios examinados. Entre

os produtos que respeitam as fronteiras climáticas, considerando os princípios adotados no estudo de caso, destacam-se itens como feijão, cebola, banana, laranja e farinha de mandioca, além do pão francês, farinha de trigo e leite.

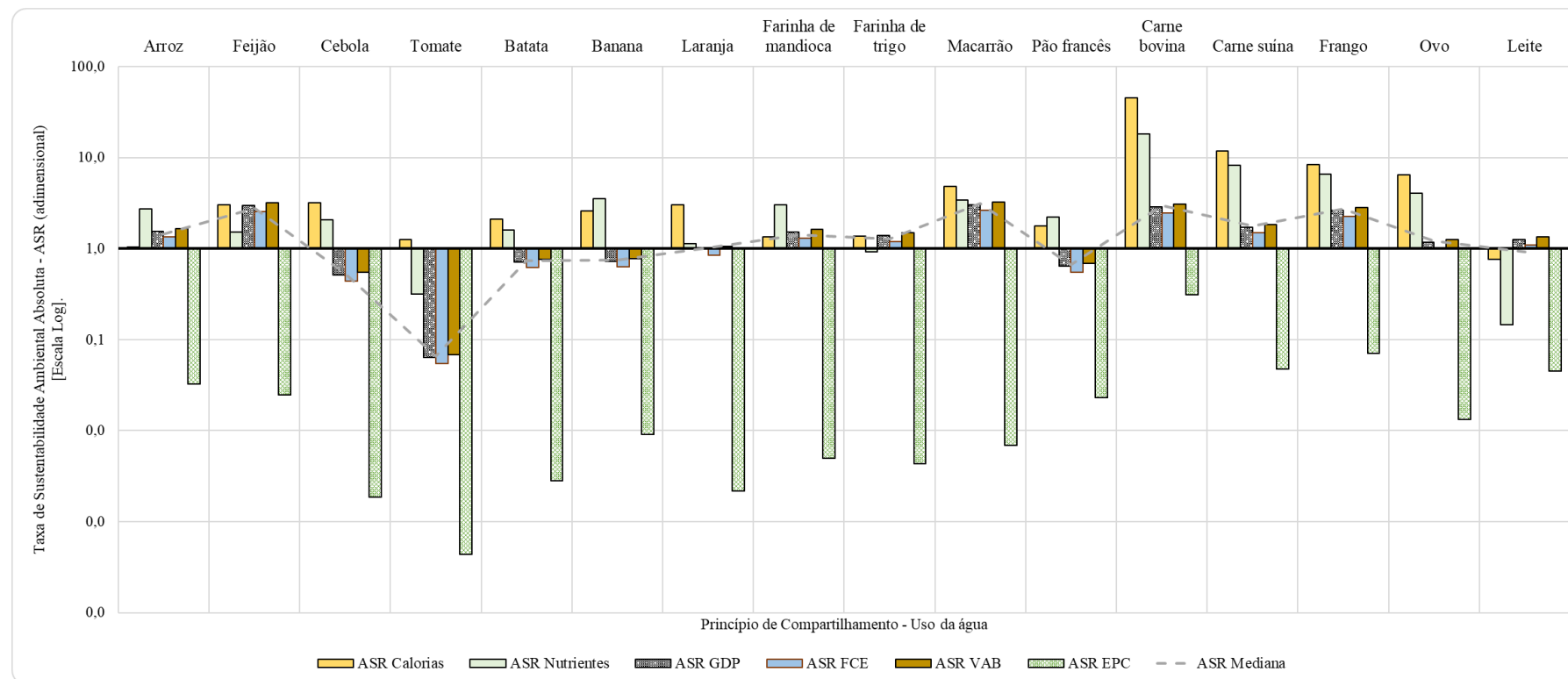
Figura 11 - Sustentabilidade Absoluta (ASR) da aquisição alimentar domiciliar para mudanças climáticas no Brasil (2018)



Fonte: elaborada pela autora.

Nota: O eixo Y utiliza escala logarítmica de base 10 para permitir a visualização simultânea de categorias com diferentes ordens de grandeza. Os princípios de compartilhamento são ASR Calorias; ASR Nutrientes; ASR GDP (baseado no Produto Interno Bruto); ASR FCE (baseado na Despesa de Consumo Final) e ASR VAB (baseado no Valor Agregado Bruto). A linha representa o limite seguro para a Taxa de Sustentabilidade Absoluta (ASR = 1) e a linha tracejada cinza representa a mediana das taxas de sustentabilidade absoluta (ASR).

Figura 12 - Sustentabilidade Absoluta (ASR) da aquisição alimentar domiciliar para uso da água no Brasil (2018)



Fonte: elaborada pela autora.

Nota: O eixo Y utiliza escala logarítmica de base 10 para permitir a visualização simultânea de categorias com diferentes ordens de grandeza. Os princípios de compartilhamento são ASR Calorias; ASR Nutrientes; ASR GDP (baseado no Produto Interno Bruto); ASR FCE (baseado na Despesa de Consumo Final) e ASR VAB (baseado no Valor Agregado Bruto). A linha representa o limite seguro para a Taxa de Sustentabilidade Absoluta ($ASR = 1$) e a linha tracejada cinza representa a mediana das taxas de sustentabilidade absoluta (ASR).

Tabela 5 - Sustentabilidade Absoluta (ASR) da aquisição alimentar domiciliar para mudanças climáticas (CC) e para uso da água no Brasil (WU)

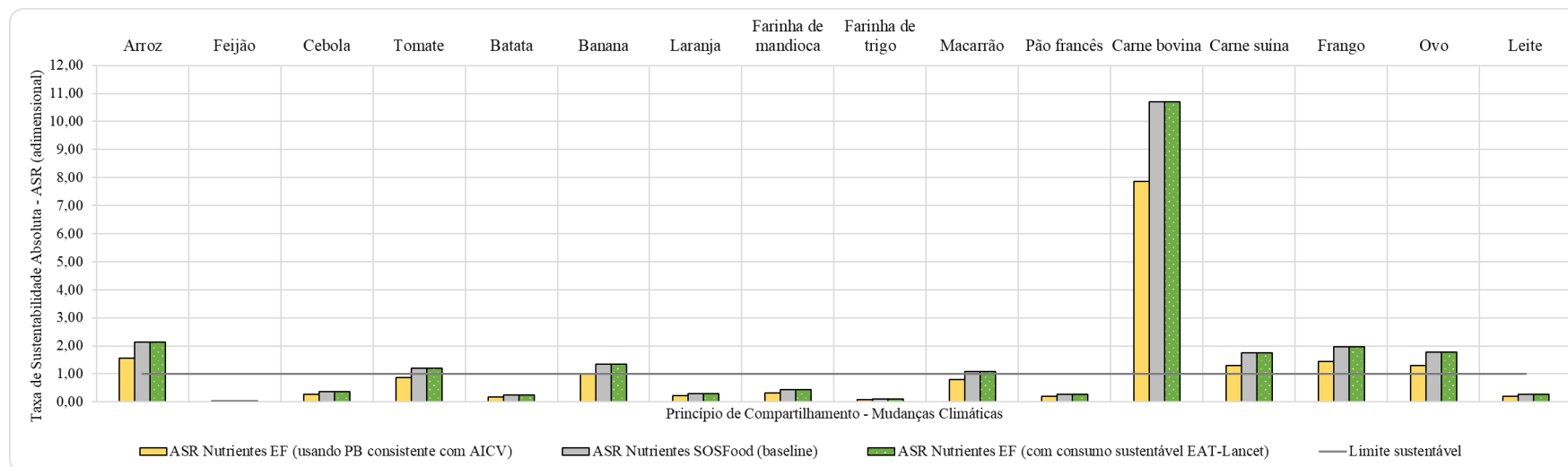
Alimento	ASR Calorias (CC)	ASR Nutrientes (CC)	ASR GDP (CC)	ASR FCE (CC)	ASR VAB (CC)	ASR EPC (CC)	ASR Calorias (WU)	ASR Nutrientes (WU)	ASR GDP (WU)	ASR FCE (WU)	ASR VAB (WU)	ASR EPC (WU)
Arroz	8,2E-01	2,1E+00	1,2E+00	1,0E+00	1,3E+00	2,6E-02	1,0E+00	2,7E+00	1,6E+00	1,3E+00	1,7E+00	3,3E-02
Feijão	7,8E-02	3,9E-02	7,7E-02	6,6E-02	8,2E-02	6,4E-04	3,0E+00	1,5E+00	3,0E+00	2,6E+00	3,2E+00	2,5E-02
Cebola	5,8E-01	3,7E-01	9,1E-02	7,9E-02	9,8E-02	3,3E-04	3,2E+00	2,1E+00	5,1E-01	4,4E-01	5,5E-01	1,9E-03
Tomate	4,7E+00	1,2E+00	2,4E-01	2,1E-01	2,6E-01	1,6E-03	1,3E+00	3,2E-01	6,3E-02	5,5E-02	6,8E-02	4,3E-04
Batata	3,2E-01	2,4E-01	1,1E-01	9,3E-02	1,2E-01	4,2E-04	2,1E+00	1,6E+00	7,1E-01	6,1E-01	7,6E-01	2,8E-03
Banana	9,9E-01	1,3E+00	2,8E-01	2,4E-01	3,0E-01	3,5E-03	2,6E+00	3,5E+00	7,3E-01	6,3E-01	7,8E-01	9,1E-03
Laranja	7,9E-01	3,0E-01	2,6E-01	2,2E-01	2,7E-01	5,7E-04	3,0E+00	1,1E+00	9,8E-01	8,5E-01	1,1E+00	2,2E-03
Farinha de mandioca	1,9E-01	4,3E-01	2,2E-01	1,9E-01	2,3E-01	7,1E-04	1,3E+00	3,0E+00	1,5E+00	1,3E+00	1,6E+00	5,0E-03
Farinha de trigo	1,7E-01	1,2E-01	1,7E-01	1,5E-01	1,9E-01	5,5E-04	1,4E+00	9,2E-01	1,4E+00	1,2E+00	1,5E+00	4,4E-03
Macarrão	1,5E+00	1,1E+00	9,6E-01	8,3E-01	1,0E+00	2,2E-03	4,8E+00	3,4E+00	3,0E+00	2,6E+00	3,2E+00	6,9E-03
Pão francês	2,1E-01	2,6E-01	7,5E-02	6,4E-02	8,0E-02	2,7E-03	1,8E+00	2,2E+00	6,4E-01	5,5E-01	6,8E-01	2,3E-02
Carne bovina	2,7E+01	1,1E+01	1,7E+00	1,5E+00	1,8E+00	1,9E-01	4,5E+01	1,8E+01	2,8E+00	2,5E+00	3,1E+00	3,1E-01
Carne suína	2,5E+00	1,8E+00	3,6E-01	3,1E-01	3,9E-01	1,0E-02	1,2E+01	8,3E+00	1,7E+00	1,5E+00	1,8E+00	4,7E-02
Frango	2,5E+00	2,0E+00	7,8E-01	6,7E-01	8,4E-01	2,1E-02	8,3E+00	6,6E+00	2,6E+00	2,3E+00	2,8E+00	7,1E-02
Ovo	2,8E+00	1,8E+00	5,1E-01	4,4E-01	5,5E-01	5,8E-03	6,4E+00	4,0E+00	1,2E+00	1,0E+00	1,2E+00	1,3E-02
Leite	2,9E-01	2,7E-01	4,7E-01	4,1E-01	5,1E-01	1,7E-02	7,6E-01	1,4E-01	1,3E+00	1,1E+00	1,4E+00	4,5E-02

Fonte: elaborada pela autora.

Nota: ASR representa a taxa de sustentabilidade absoluta. Em verde estão representadas as taxas sustentáveis ($ASR \leq 1$) e em vermelho as insustentáveis ($ASR > 1$). CC (mudanças climáticas). WU (uso de água doce).

4.2.10.3 Análise de sensibilidade frente à variação do SOS global

A Figura 13 compara as taxas de sustentabilidade usando como referência os limites globais do método EF (GWP 100) proposto por Sala *et al.* (2020) de 6,81 Gt de CO_{2e}, que são alinhados ao método *Environmental Footprint*, ao resultado obtido a partir da aplicação do fator de consumo sustentável (Heide *et al.*, 2022) sobre os resultados do cenário base, que adotou como limiar os 5 Gt de CO_{2e} (Comissão EAT-Lancet). A adoção dos limites do método EF com aplicação da taxa de consumo sustentável estimada em 73,42% resultou em valores de taxa de sustentabilidade iguais aos do cenário base.

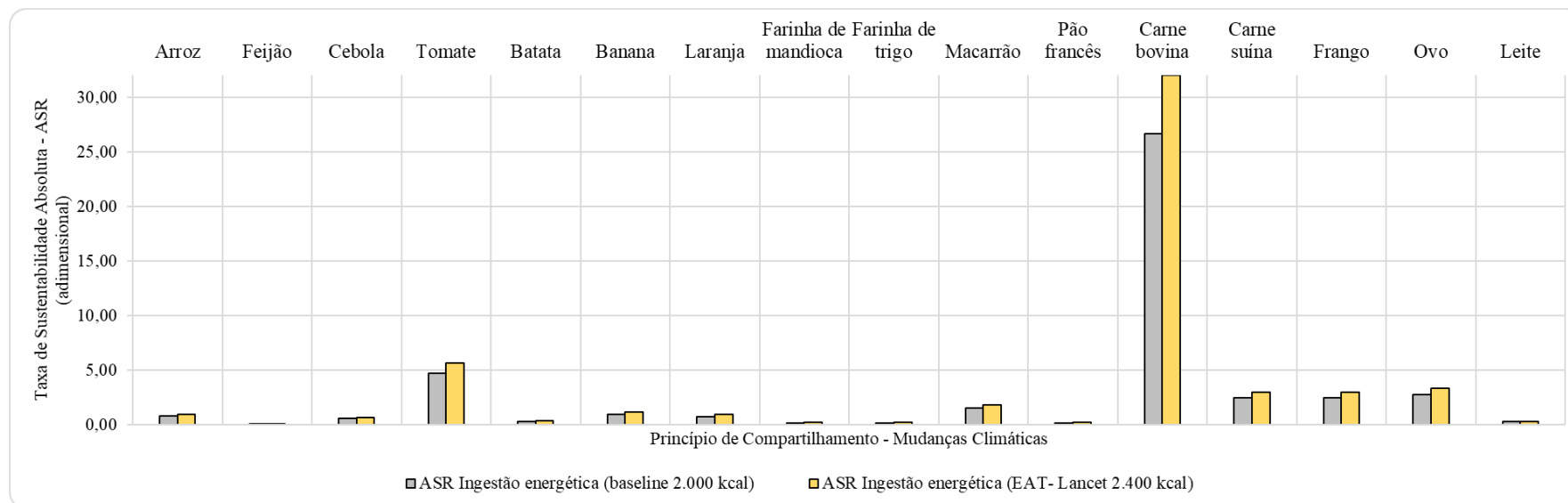
Figura 13 - Análise de Sensibilidade do ASR em mudanças climáticas frente à variação do SOS Global

Fonte: elaborada pela autora.

Nota: ASR em mudanças climáticas usando o princípio de compartilhamento baseado em nutrientes (Heide *et al.*, 2022) obtida com os parâmetros de capacidade de suporte global para mudanças climáticas baseados no baseline (usando os limites do SOS Food da Comissão EAT-Lancet (Rockström *et al.*, 2025); resultados obtidos a partir do PB do método EF de Sala *et al.* (2020) para mudanças climáticas e os resultados obtidos a partir da aplicação do índice de consumo sustentável, que é proporcional ao SOS Food em mudanças climáticas em relação ao PB global do método de Sala *et al.* (2025), estimado em 73,42%. A linha cinza indica o limite sustentável, sendo que valores ≤ 1 são sustentáveis e > 1 , insustentáveis.

A Figura 14 apresenta a análise de sensibilidade a partir da variação da referência de ingestão calórica diária. As taxas de sustentabilidade em 2.400 kcal, padrão adotado pela Comissão EAT-Lancet (Rockström *et al.*, 2025), resultaram em índices 1,2 superiores que o cenário base de 2.000 kcal, que considerou os valores adotados no Brasil para rotulagem de alimentos (BRASIL; Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2003).

Figura 14 - Análise de Sensibilidade do ASR em mudanças climáticas frente à variação da referência de ingestão calórica média para um adulto



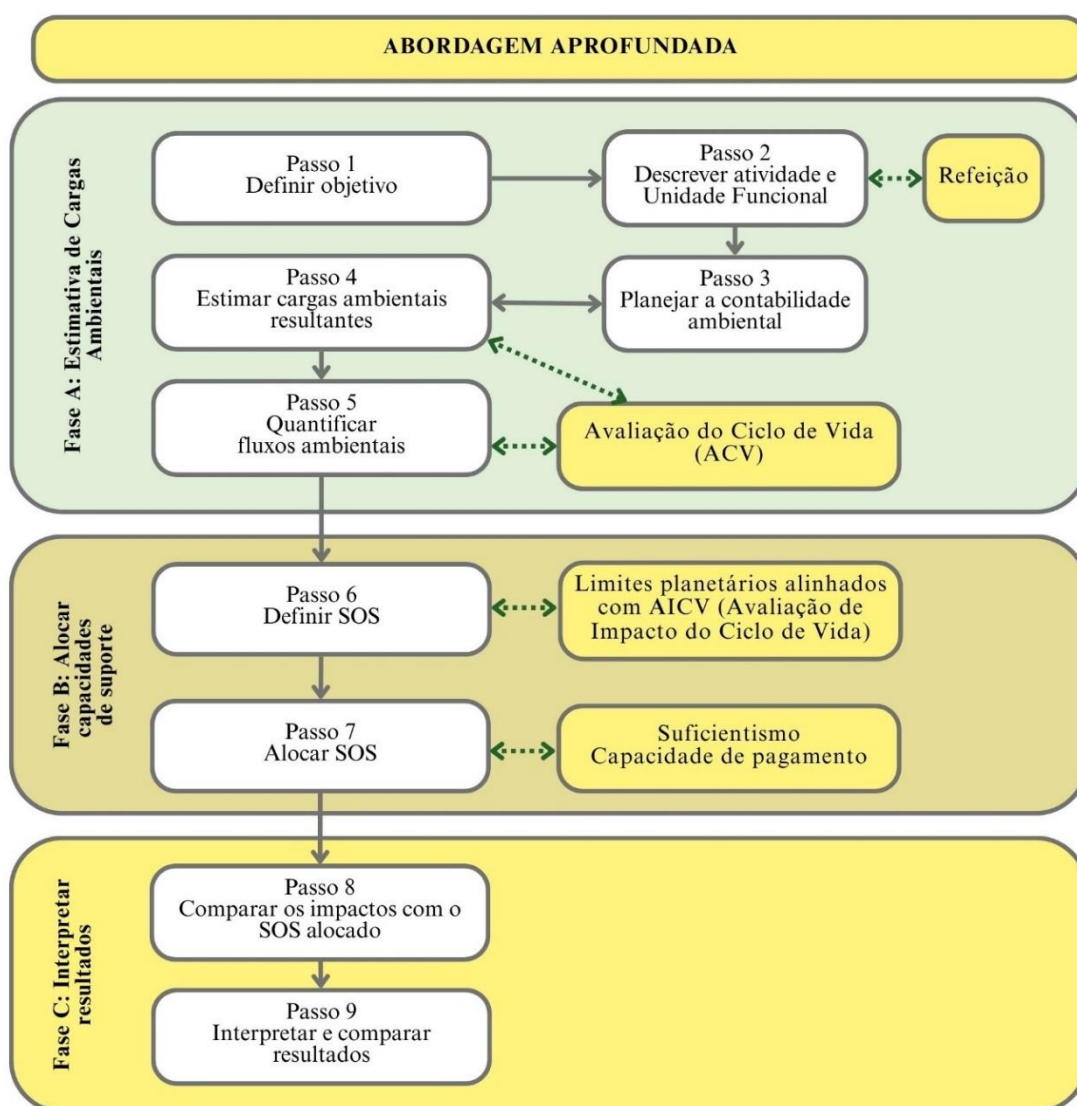
Fonte: elaborada pela autora.

Nota: ASR em mudanças climáticas usando o princípio de compartilhamento baseado em ingestão energética obtida com os parâmetros de referência de ingestão calórica diária de 2.000 kcal e 2.400 kcal.

4.3 ESTUDO DE CASO 2 - APLICAÇÃO DA AESA EM SERVIÇOS DE ALIMENTAÇÃO EM RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO (*IN-DEPTH APPROACH*)

O estudo de AESA teve como objeto a refeição preparada e servida em restaurante universitário, a partir de uma abordagem aprofundada e integrada à ACV, seguindo a estrutura proposta por Bjørn *et al.* (2025) (Figura 15).

Figura 15 - Etapas da AESA aplicada em refeição servida em restaurante universitário usando abordagem aprofundada integrada à Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)



Fonte: adaptada de Bjørn *et al.* (2025).

A fase inicial do estudo de AESA foi destinada à quantificação dos impactos gerados pela refeição avaliada. Primeiramente, foi definido o objetivo da AESA (Etapa 1) e a descrição da atividade, delimitando a Unidade Funcional (UF) e o horizonte temporal (Etapa 2). No planejamento da contabilidade ambiental (Etapa 3), foram definidos o sistema de produto, as fronteiras do sistema e as categorias de impacto alinhadas aos PBs e conforme critérios baseados na análise de incerteza e na literatura. A etapa seguinte compreendeu a quantificação dos fluxos (Etapa 4) por meio do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), para subsidiar a estimativa final das cargas ambientais (Etapa 5).

Na etapa de alocação da capacidade de suporte, os limites globais foram traduzidos para a escala do objeto de estudo (a refeição servida no restaurante universitário). Inicialmente, foram definidos os Espaços Operacionais Seguros (SOSs) globais para as categorias ambientais selecionadas (Etapa 6). Em seguida, esses limites foram alocados para o estudo de caso (Etapa 7), a partir de princípios de compartilhamento distintos para fins de análise de sensibilidade. Esta fase finaliza com aplicação de equações de compartilhamento que definem o aSOS para a unidade funcional de 0,76 kg de refeição consumida.

Por fim, os resultados foram integrados e interpretados. Na Etapa 8, foram comparadas as cargas ambientais estimadas na Fase A com as capacidades de suporte (SOS globais) alocadas na Fase B, o que possibilitou calcular a Taxa de Sustentabilidade Absoluta (*Absolute Sustainability Ratio* - ASR). A interpretação final (Etapa 9) classificou o sistema: ele foi considerado sustentável quando ($ASR \leq 1$) e insustentável quando ($ASR > 1$). Nesta fase, discutem-se as implicações dos diferentes princípios de compartilhamento adotados, avaliando a robustez dos resultados.

A primeira etapa consistiu na quantificação dos fluxos e cargas ambientais associados ao sistema produtivo, utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

4.3.1 Passo 1 - Objetivo da AESA

O objetivo principal da AESA foi avaliar a sustentabilidade ambiental absoluta das refeições servidas no Restaurante Universitário (RU) de uma universidade pública brasileira, localizada no município de Sorocaba – SP e, assim, identificar as fronteiras planetárias ultrapassadas e mensurar essa transgressão. Sob a perspectiva dos PBs, a avaliação aplicou e comparou diferentes princípios de compartilhamento da cota ambientalmente segura da atividade. O sistema de produção analisado compreende o processamento das refeições em uma

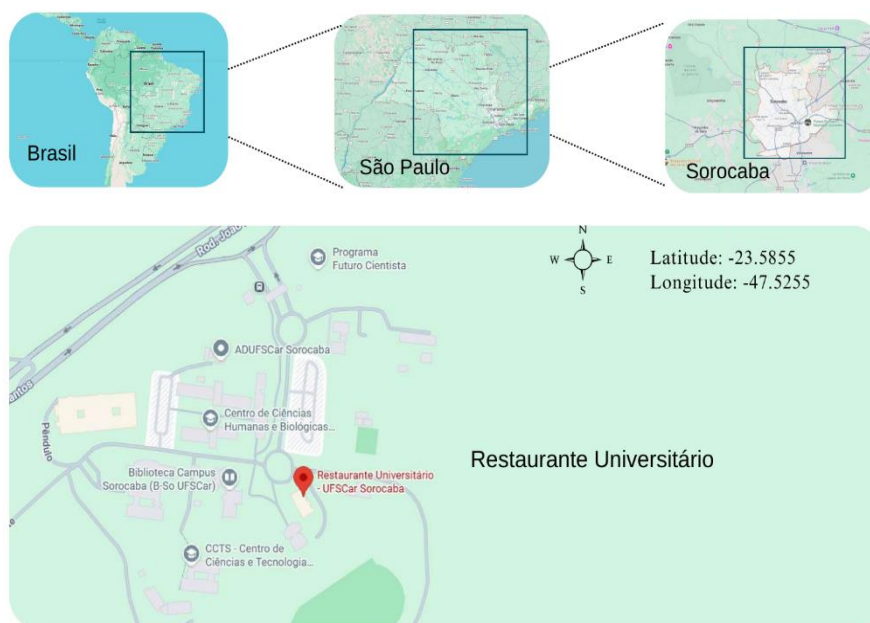
cozinha externa situada no município de Itapetininga (SP) e servidas no restaurante localizado em Sorocaba (SP).

4.3.2 Passo 2 - Descrição da atividade e Unidade Funcional

O restaurante universitário atende sua comunidade acadêmica por meio de cinco campi no interior paulista, servindo diariamente cerca de 6.200 refeições (UFSCar, 2025). O serviço de alimentação é uma política vinculada ao Programa Nacional de Assistência Estudantil (PNAES), cujo propósito é viabilizar a permanência de estudantes na educação superior pública federal (Brasil, 2010). Como se trata de uma organização pública, a contratação do serviço seguiu a Lei nº 14.133/2021 (Lei de Licitações e Contratos Administrativos).

A atividade avaliada pela AESA foi a alimentação servida no restaurante, que fornece uma média de 600 refeições diárias. O RU está inserido na Região Metropolitana de Sorocaba, um polo regional que abriga mais de 723 mil habitantes (IBGE, 2022), conforme localização estratégica apresentada na Figura 16.

Figura 16 – Localização do Restaurante Universitário



Fonte: elaborada pela autora com base em imagens do Google Maps ® (2025).

Apesar do cardápio unificado entre os *campi* da instituição, os sistemas de produção variam entre a cocção em cozinha externa e a realizada nas dependências do RU. Tais modelos,

previstos em contrato, derivam diretamente de decisões institucionais e consideram características da cadeia de suprimentos local.

A unidade funcional (UF) de 0,760 kg foi quantificada a partir da refeição média e considerou o consumo de cada alimento preparado, seguindo o método adaptado de Cerutti *et al.* (2016; 2018). Nessa abordagem, a refeição média é composta por porções de todos os tipos de alimentos servidos na refeição, o que permite a avaliação do desempenho ambiental do sistema completo do Restaurante Universitário.

Na definição da refeição média foi considerado o cardápio do almoço servido em 27/08/2024, que correspondeu a um dia letivo normal no calendário acadêmico da universidade. Os cursos ofertados no campus Sorocaba dividem-se entre integrais e noturnos; desse modo, o público atendido no almoço é majoritariamente de estudantes de cursos de período integral.

O sistema adotado pelo RU caracteriza-se pelo autosserviço, com exceção da distribuição do prato principal (proteínas). A unidade atende um perfil de comensal adulto e jovem com média etária de 20 anos (Inep, 2025). Outra característica do serviço prestado é a gratuidade e o subsídio oferecidos aos estudantes, em alinhamento com as políticas de permanência estudantil. Essa política converge com as diretrizes do Programa de Ações Afirmativas, atendendo a uma demanda expressiva de estudantes com renda familiar bruta *per capita* igual ou inferior a 1,5 salário mínimo (UFSCar, 2021).

A UF estimada a partir da média *per capita* do preparo de cada componente da refeição mostra-se condizente com o peso médio de refeições obtidos a partir da pesagem. Fausto *et al.* (2001) analisaram amostras de refeições servidas em um restaurante universitário em uma instituição pública de ensino superior em Araraquara (SP). Na referida pesquisa, cujo perfil de comensal é similar a este estudo, a pesagem de amostras de refeições (almoço e jantar) de cinco dias consecutivos evidenciou um peso médio de 0,710 kg por refeição, valor que corrobora a UF adotada por este estudo.

A UF de 0,760 kg também é coerente com o peso obtido a partir da pesagem de refeição individual, como o estudo de Carrijo *et al.* (2018) que obteve como média 0,648 kg e desvio padrão $\pm 0,133$ do consumo de refeições (almoços) de brasileiros de baixa renda em restaurantes populares, com média etária de 45 anos e que também funciona no sistema de autosserviço.

A Equação 6 apresenta a parcela (porção) de cada preparação considerada na definição da unidade funcional:

$$P \text{ (kg)} = \frac{(\text{Prod. (kg)} - \text{SL (kg)})}{TR} \quad (6)$$

onde,

P: parcela consumida de cada preparação em kg

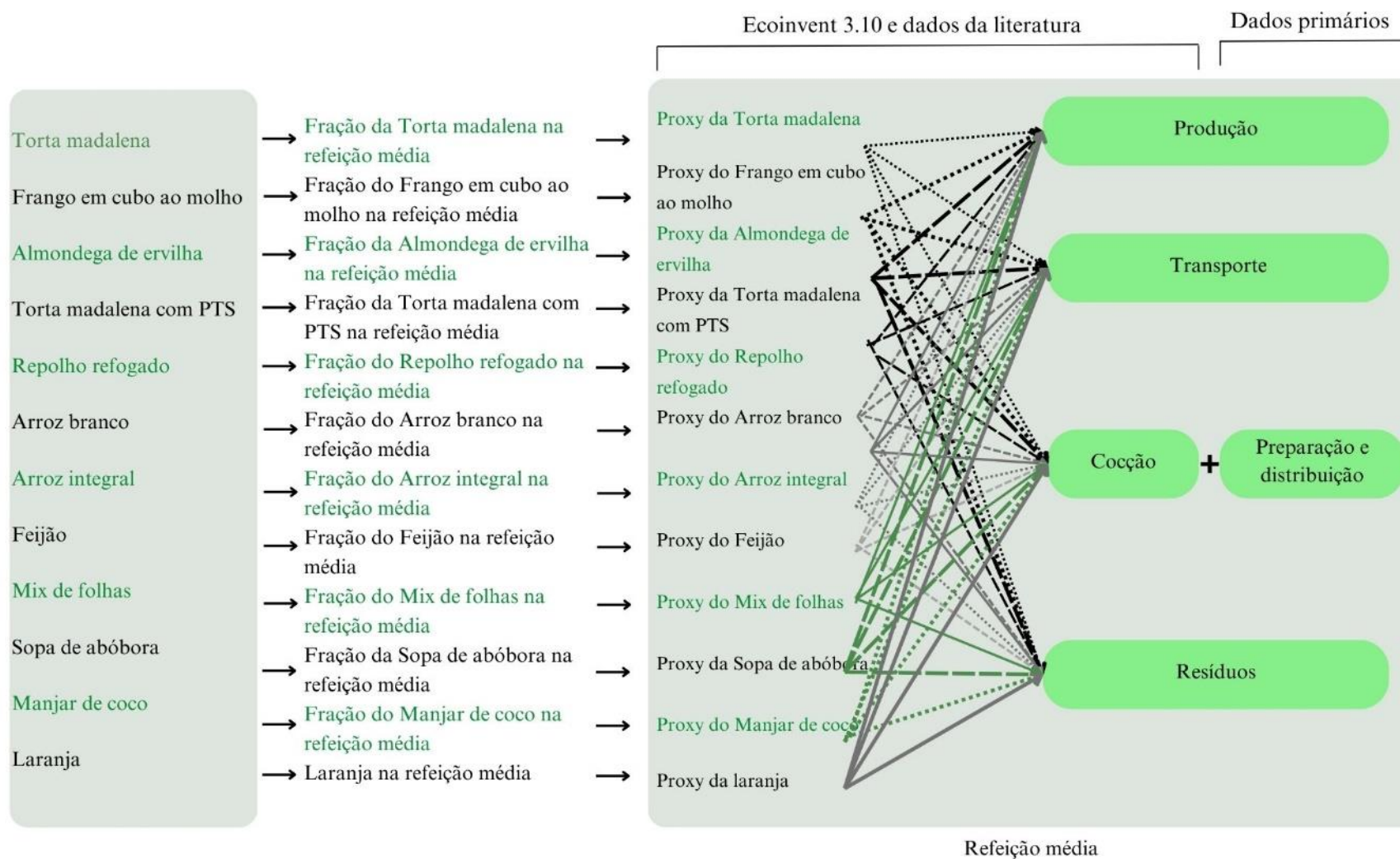
Prod: total de alimentos produzidos em kg

SL: alimentos preparados e não servidos em kg

TR: Total de refeições consumidas

Cada preparação foi desagregada em ingredientes de acordo com a forma de preparação e cocção. Os ingredientes foram associados a *proxy* disponível em bancos de dados de *Ecoinvent 3.10 cut off-regionalized*. Os dados da literatura foram complementados por dados primários para calcular os impactos da refeição média. A contribuição de cada alimento foi calculada em razão da sua ocorrência na refeição como esquematizado na Figura 17.

Figura 17 - Definição da refeição média

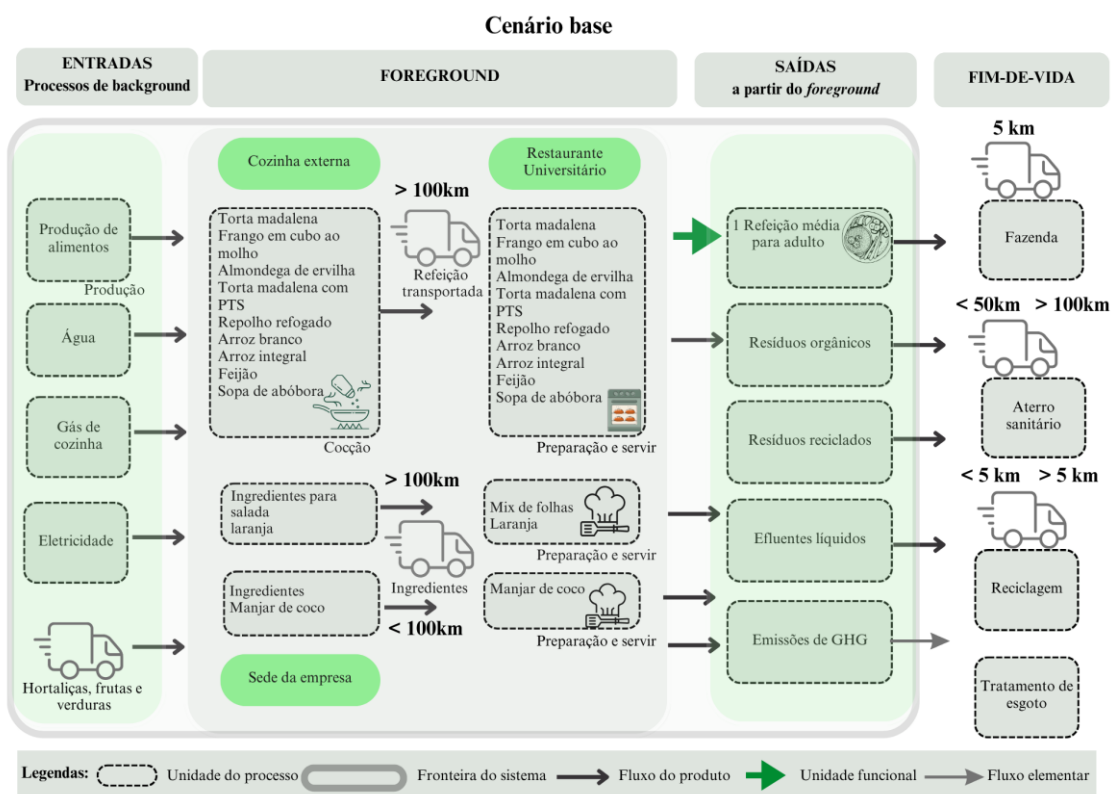


Fonte: elaborada pela autora a partir de adaptação de Cerutti *et al.* (2016; 2018).

4.3.3 Passo 3: Planejamento da contabilidade ambiental

A fim de garantir a adequação das cargas ambientais para a alocação na Fase B, foi utilizada a ACV atribucional, conforme o recomendado pelo guia JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025). Quanto à fronteira do sistema (*cradle-to-grave*), o escopo considerou desde a produção e o transporte de insumos até as etapas de cocção, preparação, distribuição e gestão final de resíduos, em acordo com as normas ISO 14040 (ISO, 2006a) e ISO 14044 (ISO, 2006b). Essas etapas seguem esquematizadas na Figura 18 e são exploradas na seção seguinte.

Figura 18 – Fronteira do sistema da refeição servida no Restaurante Universitário



Fonte: elaborada pela autora.

Na fase de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foi adotado o EF v3.0, seguindo o método proposto por Sala *et al.* (2017, 2020) e Crenna *et al.* 2019. Nessa lógica, as cargas ambientais são quantificadas por meio de indicadores de impacto padronizados e, subsequentemente, comparáveis aos PBs. Ou seja, para viabilizar essa comparação, os PBs são traduzidos para as mesmas métricas de AICV (LCIA-consistent PB), utilizando “fatores de normalização”.

O Quadro 13 apresenta as categorias de impacto do método EF v3.0 e destaca as que foram aplicadas no estudo de caso e as justificativas para exclusão, baseadas em sua conexão com o PB atualizado por Steffen *et al.* (2015) (Paulillo *et al.*, 2026).

Quadro 13 – Categorias de impacto do EF aplicadas ao estudo de caso de AESA

Categoria EF	Sigla	Processo do sistema terrestre	Aplicada ao estudo de caso	Justificativa para exclusão*
Toxicidade humana, efeitos carcinogênicos	HTOX_c	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Toxicidade humana, efeitos não carcinogênicos	HTOX_nc	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Material particulado	PM	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Formação de ozônio fotoquímico, saúde humana	POF	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Radiação ionizante, saúde humana	IR	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Uso da água	WU	Uso da água doce (Global)	Sim	-
Ecotoxicidade, água doce	ECOTOX		Não	Relação fraca com PB
Mudanças climáticas	CC	Mudanças climáticas (Desequilíbrio energético)	Sim	-
Uso de recursos, fósseis	FRD	<i>n/a</i>	Não	Não relacionado ao PB
Depleção da camada de ozônio	ODP	Depleção da camada de ozônio estratosférico	Sim	-
Eutrofização, marinha	MEU	Fluxo biogeoquímico (N global)	Sim	-
Eutrofização, água doce	FEU	Fluxo biogeoquímico (P regional)	Sim	-
Uso da terra	LU	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Eutrofização, terrestre	TEU	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Acidificação	AC	<i>n/a</i>	Não	Relação fraca com PB
Uso de recursos, minerais e metais	MRD	<i>n/a</i>	Não	Não relacionado ao PB

Fonte: elaborado pela autora.

Notas: As categorias destacadas com fundo cinza são as selecionadas para a AESA. *n/a* indica que a categoria de impacto do EF 3.0 não apresenta conexão com a estabilidade do sistema terrestre e, por consequência, não apresenta conexão com o *framework* do PB (Paulillo *et al.*, 2026).

Foram selecionadas para a AESA as categorias de impacto relacionadas aos Limites Planetários (Paulillo *et al.*, 2026). A categoria Formação de Ozônio fotoquímico, por exemplo, foi excluída por priorizar impactos na saúde humana, apesar de compartilhar emissões com a Carga Atmosférica de Aerossóis. Consequentemente, essa categoria não apresenta correlação direta com os PB.

Por fim, foram selecionadas cinco categorias de impacto: uso da água (WU); mudanças climáticas (CC); eutrofização, marinha (MEU); eutrofização, água doce (FEU); e depleção da camada de ozônio (ODP).

4.3.4 Passo 4: Quantificação dos fluxos ambientais

Os dados primários foram coletados para o ano letivo de 2024, baseando-se no cardápio do almoço servido no restaurante (UAN, em Sorocaba-SP) em 28 de agosto de 2024, data representativa de um dia letivo regular. As informações sobre ingredientes, quantidades e etapas de preparo foram obtidas por meio de entrevista. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar (CAAE 78833124.5.0000.5504).

O serviço do restaurante é subdividido entre a produção externa e consumo local. A UAN externa localiza-se em Itapetininga (SP), a 67,8 km do restaurante, de onde partiam entregas diárias de refeições prontas, frutas e verduras. Os ingredientes secos e insumos para sobremesas eram transportados do município de São Carlos (SP), a 213 km do RU, com entregas semanais.

Seguindo as diretrizes contratuais, a refeição analisada era composta por dois pratos principais (proteína animal ou opção vegetariana), guarnição, arroz (branco e integral), feijão, salada e sobremesa. O almoço foi selecionado como objeto de estudo por representar 67% do volume total de refeições diárias do campus (UFSCar, 2023). Não foram avaliados o consumo de bebidas (suco, café e chá).

Para a construção do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), foram considerados os fluxos de entrada e saída de materiais e energia em todas as etapas delimitadas pelo sistema. Para refletir a participação real na refeição, as preparações foram desagregadas em ingredientes. Cada um deles foi associado a um item proxy na base de dados Ecoinvent 3.10®, utilizando o software OpenLCA versão 1.10 (GREENDELTA, 2025). Adotou-se a abordagem de "refeição média" (Cerutti *et al.*, 2016; 2018), composta por porções de todos os itens servidos, permitindo uma análise sistêmica do desempenho ambiental da refeição.

Foram utilizados dados globais (GLO), brasileiros (BR) e do "resto do mundo" (RoW). Para alinhar os inventários à realidade nacional, foram adaptados os processos de transporte, matriz energética e sistemas de irrigação. O detalhamento dos dados do inventário encontra-se no Apêndice E. A etapa de produção compreende as fases agrícola e industrial dos insumos, cujas cargas ambientais estão integradas aos processos de entrada.

O gerenciamento de resíduos sólidos foi integrado à ACV, contabilizando a geração no preparo e o desperdício pós-consumo. A estimativa baseou-se na fração de alimentos adquiridos que se tornam resíduos, seja por partes não comestíveis (cascas) ou por sobras de prato, conforme parâmetros de Oliveira *et al.* (2023), Santos *et al.* (2023) e EMBRAPA (2007). Sobras limpas não foram consideradas resíduos devido ao seu potencial de reaproveitamento. Adicionalmente, foram incluídos os resíduos gerados pelos funcionários do restaurante, estimados a partir de parâmetros do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024 (ABRELPE, 2024).

Ainda sobre os resíduos, a logística varia conforme a unidade de produção:

- UAN Externa (Itapetininga): Os resíduos são transportados para uma estação de transbordo (6,7 km) três vezes por semana, com destino final diário em aterro sanitário em Cesário Lange (58 km da UAN externa). Foi presumido que os materiais recicláveis seguiram para a cooperativa local (6,2 km).
- RU Sorocaba: Os resíduos são destinados a um aterro em Iperó (35,7 km) e os recicláveis a uma cooperativa (18,6 km).

O estudo também contemplou as embalagens dos ingredientes, insumos de limpeza e materiais utilizados na distribuição. A Tabela 6 detalha as distâncias de transporte e os veículos utilizados em cada atividade.

Tabela 6 - Dados de transporte por Unidade Funcional (UF)

Transporte	Combustível	t.km ponderada/UF
Caminhão 3.5-7.5 t. (transporte da refeição)	Diesel	9,43E-02
Caminhão 3.5-7.5 t. (ingredientes)	Diesel	5,88E-03
Caminhão 7.5-16 (resíduos do restaurante para Aterro Sanitário)	Diesel	2,49E-03
Caminhão 3.5-7.5 t. (reciclados do restaurante para cooperativa)	Diesel	6,94E-05

Veículo leve (5 passageiros) (orgânicos para fazenda)	Gasolina	5,92E-04
Caminhão 7.5-16 t. (resíduos da cozinha externa para o Aterro Sanitário)	Diesel	3,09E-02
Caminhão 7.5-16 t. (transbordo para o Aterro Sanitário)	Diesel	1,53E-03
Caminhão 7.5-16 t. (reciclados da cozinha para cooperativa)	Diesel	1,13E-04
Caminhão > 32 t. (hortaliças, frutas e verduras até o CEASA)	Diesel	7,09E-03

Fonte: elaborada pela autora.

As distâncias médias de transporte entre as regiões produtoras e o centro de comercialização de hortifrúti foram estimadas a partir da ponderação da distância entre o município de origem de cada alimento e as Centrais de Abastecimento de Campinas (CEASA Campinas), selecionada por ser a unidade de distribuição mais próxima às UANs analisadas e por disponibilizar dados atualizados sobre o volume de comercialização por localidade de origem. As informações sobre as distâncias e origem dos produtos foram extraídas do Portal de Informações Agropecuárias da Companhia Nacional de Abastecimento (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab, 2025) e as rotas validadas via Google Maps®. Os dados de transporte do ponto de venda à UAN não foram incluídos no inventário, devido à indisponibilidade de informações.

As emissões associadas ao transporte (considerando o tipo de combustível e o consumo por UF) e ao consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) na cocção foram estimadas por meio da ferramenta do Programa Brasileiro GHG Protocol 2025 (Gvces, 2025). Essa metodologia também foi aplicada para o cálculo das emissões provenientes dos aterros sanitários e dos efluentes domésticos.

A geração de esgoto doméstico no RU foi calculada a partir da taxa de retorno média nacional. A carga orgânica foi calculada a partir da premissa de concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 300 mg/L (300 g/m³), valor de referência para esgoto doméstico de concentração média no Brasil (Von Sperling, 2014). A carga de nitrogênio no efluente foi estimada a partir da relação DBO/N de 5:1, conforme o mesmo autor.

4.3.5 Passo 5: Estimativa das cargas ambientais resultantes

A Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foi realizada a partir do EF v3.0. Visto que as métricas originais dos PBs não permitem uma avaliação direta da sustentabilidade

sob a perspectiva do ciclo de vida, Sala *et al.* (2020) propuseram fatores de normalização para alinhar os limites globais às categorias de impacto do EF, como apresentado no passo 3.

4.3.6 Passo 6: Definição dos Espaços Operacionais Seguros (SOSs) globais

Nesta etapa, foram estabelecidos os valores de referência para a sustentabilidade. Utilizaram-se os limites globais traduzidos em métricas de impacto ambiental, conforme as atualizações de Sala *et al.* (2020) para as categorias selecionadas (Passo 4). Esses valores definem o espaço operacional global (última coluna da Tabela 7), do qual será derivada a parcela de impacto alocada à refeição avaliada.

Tabela 7 – Fronteiras Planetárias alinhadas à LCIA (Sala *et al.*, 2020)

Categoria de impacto (EF 3.0)	Sigla	Unidade	PB (Sala <i>et al.</i>, 2020)
Uso da água	WU	m ³ world eq	1,82E+14
Mudanças climáticas	CC	kg CO ₂ eq	6,81E+12
Eutrofização, marinha	MEU	kg N eq	2,01E+11
Eutrofização, água doce	FEU	kg P eq	1,11E+10
Depleção de ozônio	ODP	Kg CFC-11 eq	3,33E+08

Fonte: elaborada pela autora a partir de Sala *et al.* (2020).

4.3.7 Passo 7: Alocação das capacidades suporte para o estudo de caso

Nessa etapa são definidas as parcelas atribuídas à UF (de 0,760 kg) do SOS global, a partir da aplicação da Equação 5 (vide seção 4.2.7).

Assim como no estudo de caso dos principais alimentos adquiridos no Brasil, a atribuição de uma parcela do SOS global à UF foi realizada a partir da aplicação de seis princípios de compartilhamento diferentes. Considerando a essencialidade da alimentação e características socioeconômicas do Brasil, foram testados para definir a fatia segura da UF os seguintes princípios: o igualitário *per capita*, dois métodos de alocação baseados no suficientismo: ingestão calórica e nutrientes, e três baseados na capacidade de pagamento “*ability to pay*” a partir três *proxies* econômicas: o produto interno bruto (PIB), a despesa de consumo final (FCE) e valor adicionado bruto (VAB), cujas equações e parâmetros estão disponíveis no Apêndice D.

4.3.8 Passo 8: Comparação e Cálculo da Razão de Sustentabilidade

Nesta etapa, foi avaliada a sustentabilidade ambiental absoluta da refeição a partir da comparação entre o orçamento disponível (aSOS) e o impacto gerado pela UF.

4.3.9 Passo 9: Interpretação e Análise de Sensibilidade

Para interpretação dos resultados foram utilizadas a equação da ASR (Equação 1) para determinar se a atividade opera dentro do espaço operacional seguro ou ultrapassa a PB, sendo que valores superiores a 1 indicam transgressão do limite seguro.

Adicionalmente, foi realizada uma comparação com o cenário de alimentação sustentável (SoS Food, Rockström *et al.*, 2025 e Willet *et al.*, 2019) gerados pelo princípio de suficientismo baseado em nutrientes. Esta análise utilizou o método adaptado a partir de Heide, Hauschild e Ryberg (2023) e buscou identificar como a meta de consumo sustentável influencia o diagnóstico de sustentabilidade absoluta em serviços de alimentação.

4.3.10 Resultados da AESA sobre a refeição servida no Restaurante Universitário

4.3.10.1 Avaliação relativa dos impactos ambientais da refeição base servida no restaurante universitário

Os impactos por UF, calculados para as 16 categorias do método EF 3.0, estão apresentados na Tabela 8. Para uso do solo (LU), o resultado indica benefício ambiental relacionado, em especial, pelo cultivo de feijão, tendo em vista que os parâmetros do EF 3.0 avaliam a qualidade do solo (Castellani *et al.*, 2018).

Tabela 8: Valores das categorias de impacto calculados a partir do método de AICV EF 3.0 (Sala *et al.*, 2020) e anuais

Categoria de impacto EF 3.0	Sigla	Unidade	Valor por ano (2024)	Valor por UF
Toxicidade humana, efeitos cancerígenos	HTOX_c	CTUh	1,79E-03	1,40E-08
Toxicidade humana, efeitos não cancerígenos	HTOX_nc	CTUh	2,68E-01	2,10E-06
Material particulado	PM	Disease incidence	2,17E-02	1,70E-07
Formação fotoquímica de ozônio, saúde humana	POF	kg NMVOC eq	1,26E+03	9,85E-03

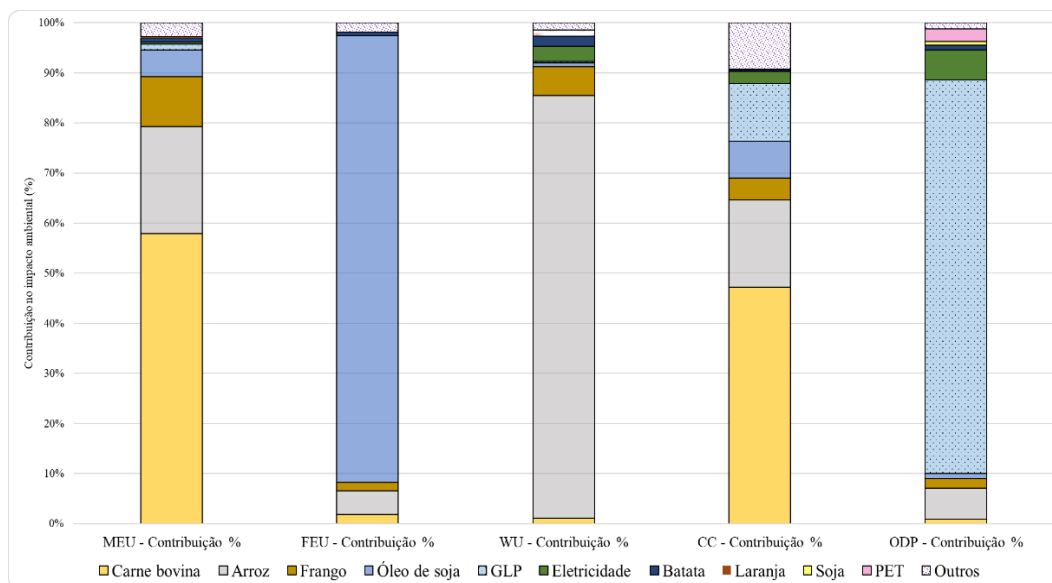
Radiação ionizante, saúde humana	IR	kBq 235U eq	6,46E+03	5,06E-02
Water use: Uso da água	WU	m ³ water eq	1,81E+06	1,42E+01
Ecotoxicidade, água doce	ECOTOX	CTUe	2,40E+07	1,88E+02
Mudanças climáticas	CC	kg CO ₂ eq	6,23E+05	4,88E+00
Uso de recursos, fósseis	FRD	MJ	6,05E+06	4,74E+01
Depleção da camada de ozônio	ODP	kg CFC-11 eq	2,34E-02	1,83E-07
Eutrofização, marinha	MEU	kg N eq	2,85E+03	2,24E-02
Eutrofização, água doce	FEU	kg P eq	3,98E+02	3,12E-03
Uso da terra	LU	kg soil loss	-8,47E+07	-6,63E+02
Eutrofização, terrestre	TEU	molc N eq	1,02E+04	7,97E-02
Acidificação	AC	molc H ⁺ eq	2,50E+03	1,96E-02
Uso de recursos, minerais e metais	MRD	kg Sb eq	9,28E-01	7,27E-06

Fonte: elaborada pela autora.

Nota: Os valores da última coluna representam os impactos totais para o ano de 2024.

Os principais processos que contribuíram para o impacto para as cinco categorias consideradas pela AESA são apresentados na Figura 19. Foram identificados 10 processos com maior contribuição, sendo eles: carne bovina, arroz, frango, óleo de soja, GLP (gás de cozinha), eletricidade, batata, laranja, soja e PET (plástico para embalagens).

Na categoria de Eutrofização marinha (MEU), os processos que mais contribuíram foram os relacionados aos ingredientes da refeição, como a carne bovina (57,9%), arroz (21,4%), frango (9,9%) e o óleo de soja (5,4%). Para eutrofização de água doce (FEU), óleo de soja (89%) arroz (5%) e carne bovina e frango, ambos com 2%, foram os processos com maior aporte para o impacto. Em relação à categoria de impacto Uso da água doce (WU), os ingredientes como o arroz (84,3%), frango (5,8%) e carne bovina (1,1%) apresentaram as maiores contribuições para o consumo hídrico. Já em relação às mudanças climáticas (CC) constam os processos relacionados aos ingredientes, como a carne bovina (47,2%), arroz (17,4%), frango (4,4%), óleo de soja (7,4%) e à energia como o GLP (11,5%) e a eletricidade (2,4%). Por fim, a Depleção de ozônio (ODP) tem como maior contribuinte o GLP (79%), seguidos da eletricidade (6%), arroz (6%), frango (2%) e PET usados em embalagens (2%).

Figura 19 - Principais contribuintes (*hotspots*) para as categorias de impacto

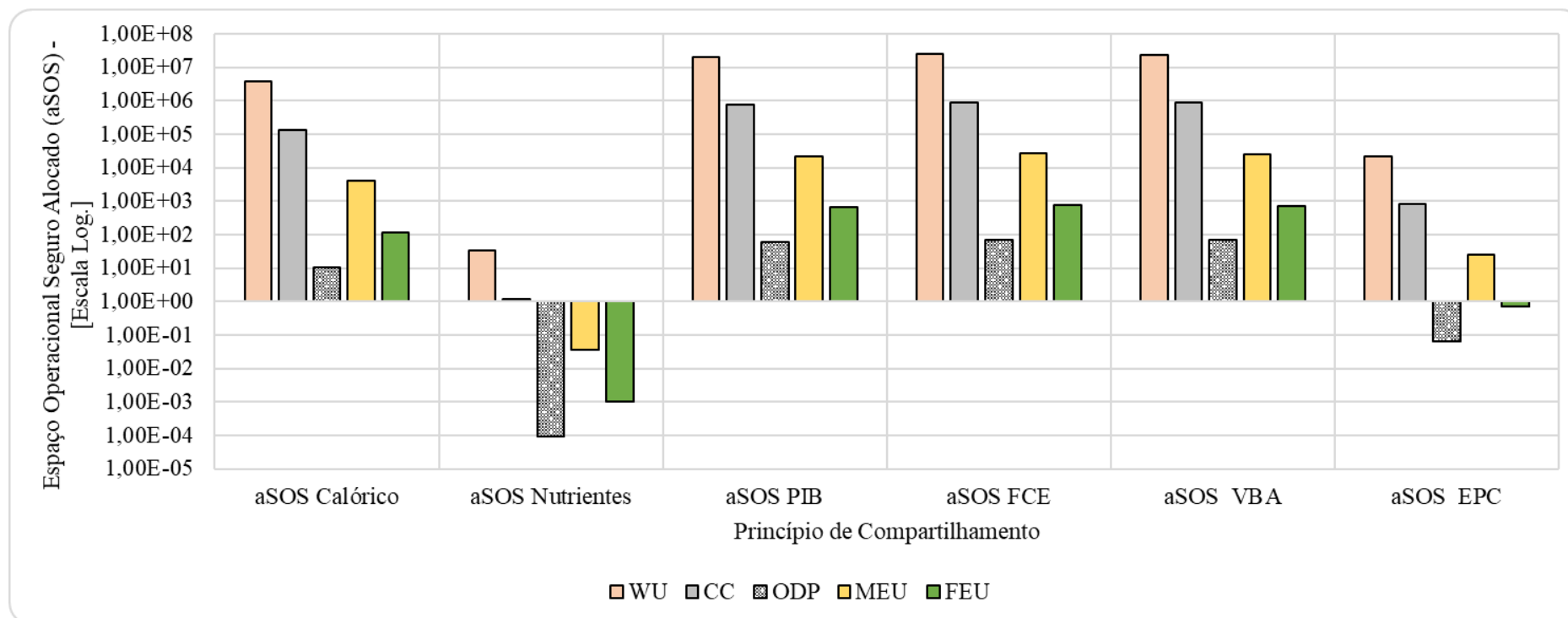
Fonte: elaborada pela autora.

Notas WU: Uso da água; CC: Mudanças climáticas; MEU: Eutrofização marinha; FEU: Eutrofização de água doce; ODP: Depleção da camada de ozônio. PET: polietileno Tereftalato. GLP (gás liquefeito de petróleo).

4.3.10.2 Definição de cotas ambientais seguras para a refeição sob diferentes perspectivas de alocação

A partir dos diferentes métodos de partilha, o espaço seguro atribuído à refeição média servida no restaurante universitário (Figura 20) apresentou valores menores (exemplo: 1,23 kgCO_{2e} por UF), em relação aos demais princípios de compartilhamento, quando adotada a alocação a partir dos nutrientes (aSOS nutrientes). Já os espaços seguros atribuídos a partir do uso de princípio baseado na capacidade de pagamento (*ability to pay*), resultaram em maiores valores de aSOS (exemplo: 756.812,98 KgCO_{2e} a partir do aSOS PIB). Enquanto os espaços seguros alocados pelos princípios que consideraram o PIB, FCE e VBA são próximos.

Figura 20 – Análise de sensibilidade dos princípios de compartilhamento na alocação do Espaço Operacional Seguro (aSOS)



Fonte: elaborada pela autora.

Notas: WU: Uso da água (m^3 world eq); CC: Mudanças climáticas (kg CO_2 eq); MEU: Eutrofização marinha (kg N eq); FEU: Eutrofização, água doce (kg P eq); e ODP: Depleção de ozônio (kg CFC-11 eq). WU (m^3 world eq), CC (kg CO_2 eq), ODP (kg CFC-11 eq), MEU (kg N eq) e FEU (kg P eq). Os princípios de compartilhamento são aSOS Calorias; a SOS Nutrientes; a SOS GDP (baseado no Produto Interno Bruto); a aSOSFCE (baseado na Despesa de Consumo Final) e aSOS VAB (baseado no Valor Agregado Bruto). O eixo Y utiliza escala logarítmica de base 10 para permitir a visualização simultânea de categorias com diferentes ordens de grandeza.

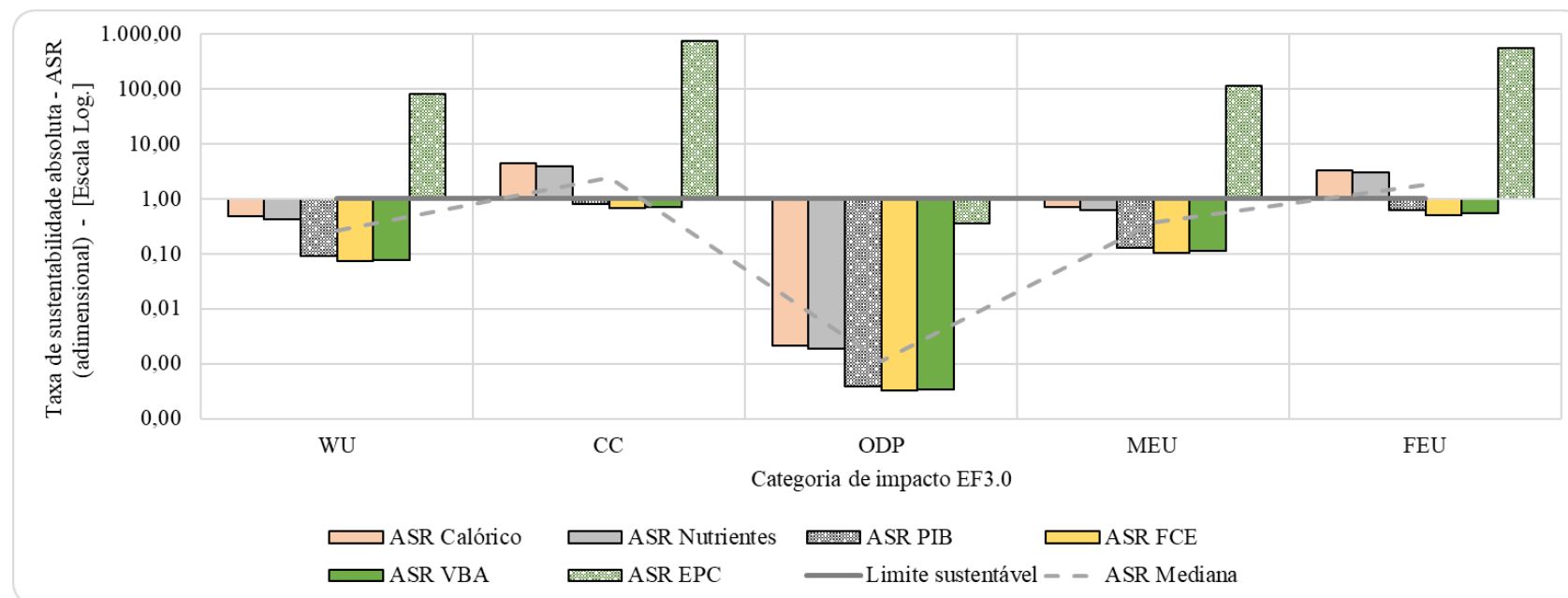
4.3.10.3 Taxas de sustentabilidade absoluta da refeição servida no restaurante universitário

As taxas de sustentabilidade menores ou igual a 1, ou seja, que indicam que a categoria de impacto respeitou a fronteira planetária (Figuras 21 e 22), foram obtidas a partir das alocações baseadas no princípio de capacidade de pagamento (*ability to pay*), que atribui responsabilidades inversamente proporcionais aos indicadores econômicos.

As categorias de Mudanças climáticas (CC) e Eutrofização de água doce (FEU) ultrapassaram o limiar absolutamente sustentável quando adotados *proxies* de fornecimento de energia (kcal) e de nutrientes (ASR - CC= 4,5 e 3,99; ASR - FEU= 3,37 e 2,98).

Uso de água (WU), depleção da camada de ozônio (ODP) e eutrofização marinha (MEU) apresentaram taxas sustentáveis (inferiores a 1) em cinco princípios testados, exceto na alocação igualitária *per capita*.

Figura 21 – Gráfico de Sensibilidade da Taxa de Sustentabilidade Absoluta (ASR) às regras de alocação

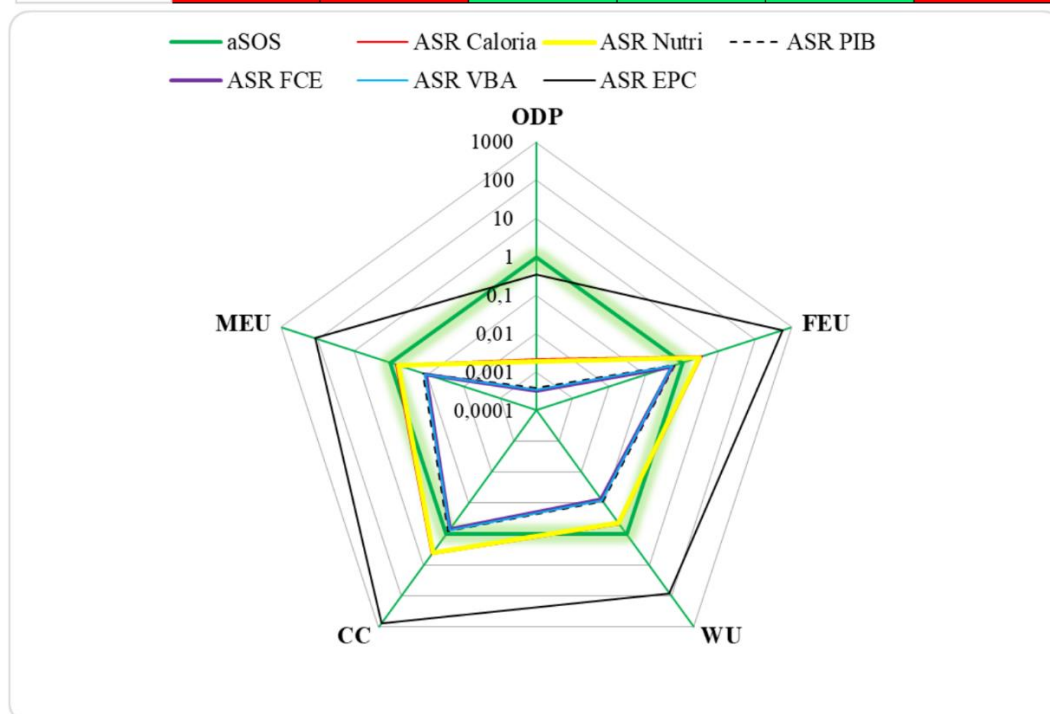


Fonte: elaborada pela autora

Notas: WU: Uso da água; CC: Mudanças climáticas; MEU: Eutrofização marinha; FEU: Eutrofização, água doce; e ODP: Depleção de ozônio. A linha cinza indica o limiar de sustentabilidade (ASR), sendo que ≥ 1 indicam a transgressão das fronteiras planetárias e < 1 o respeito a esses limites. Os princípios de compartilhamento são aSOS Calorias; a SOS Nutrientes; a SOS GDP (baseado no Produto Interno Bruto); a aSOSFCE (baseado na Despesa de Consumo Final) e aSOS VAB (baseado no Valor Agregado Bruto). O eixo Y utiliza escala logarítmica de base 10 para permitir a visualização simultânea de categorias com diferentes ordens de grandeza. A linha tracejada cinza representa a mediana das Taxas de sustentabilidade absoluta (ASR).

Figura 22 – Sensibilidade da Taxa de Sustentabilidade Absoluta (ASR) às regras de alocação

Categoria de impacto	ASR Calórico	ASR Nutrientes	ASR PIB	ASR FCE	ASR VBA	ASR EPC
WU	4,90E-01	4,34E-01	8,97E-02	7,42E-02	7,85E-02	8,13E+01
CC	4,50E+00	3,99E+00	8,23E-01	6,81E-01	7,21E-01	7,47E+02
ODP	2,13E-03	1,89E-03	3,90E-04	3,22E-04	3,41E-04	3,54E-01
MEU	6,99E-01	6,18E-01	1,28E-01	1,06E-01	1,12E-01	1,16E+02
FEU	3,37E+00	2,98E+00	6,17E-01	5,10E-01	5,40E-01	5,59E+02



Fonte: elaborada pela autora.

Notas: WU: Uso da água; CC: Mudanças climáticas; MEU: Eutrofização marinha; FEU: Eutrofização, água doce; e ODP: Depleção da camada de ozônio. A linha verde indica o limite seguro: ASR=1. Os princípios de compartilhamento são aSOS Calorias; a SOS Nutrientes; a SOS GDP (baseado no Produto Interno Bruto); a aSOSFCE (baseado na Despesa de Consumo Final) e aSOS VAB (baseado no Valor Agregado Bruto).

4.4 FRAMEWORK PARA INTRODUIR AESA AO PROCESSO DE COMPRAS SUSTENTÁVEIS DE ALIMENTOS

4.4.1 Apresentação do FP-AESA

O propósito central da AESA é permitir que as organizações comparem as cargas ambientais de seus produtos e serviços com os limites planetários, compreendendo assim os requisitos necessários para gerir as compras de alimentos em conformidade com os parâmetros de sustentabilidade ambiental absoluta, ou seja, respeitando as fronteiras planetárias. No entanto, a transição desse conceito do campo acadêmico para a aplicação prática em processos organizacionais, como as compras sustentáveis, enfrenta um desafio central: a lacuna de orientação metodológica para uma aplicação consistente e robusta.

O *framework* intitulado “*Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment*” (FP-AESA) foi elaborado a partir da ISO 20400 e do Guia JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025) (vide seção 2.3.5). A estrutura tem como objetivo propor uma estrutura para guiar a introdução gradativa da AESA em processos de compras de alimentos e de serviços de alimentação.

Estruturalmente, o guia estruturado fundamenta-se na ISO 20400 e compreende quatro diretrizes e oito ações orientadas pelo ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Act*). Essa lógica visa integrar a aplicação à gestão organizacional, considerando o ciclo de vida do alimento ou as etapas do serviço de alimentação contratado, conforme os estudos de caso das seções 4.2 (abordagem simplificada) e 4.3 (abordagem aprofundada). As diretrizes e ações, detalhadas no Quadro 14, foram avaliadas por especialistas de acordo com os procedimentos descritos na seção 3.3.5.

Operacionalmente, na etapa de planejamento (*Plan*), o FP-AESA prevê a flexibilidade de aplicar a AESA a partir de uma abordagem simplificada (*screening approach*), como a descrita no estudo de caso 1 ou aprofundada, a exemplo do método utilizado no estudo de caso 2 (*in-depth approach*). Essa definição é fundamental para estabelecer a operacionalização da AESA pela organização, as quais deverão estar alinhadas aos objetivos da organização.

Quadro 14 - Diretrizes e ação-chave do *framework* FP-AESA

Fase	Diretriz	ID	Ação-Chave
P – Planejar	Considerar nas decisões de compra os <i>hotspots</i> ambientais, usando referências da sustentabilidade absoluta.	P1	Usar a AESA para definir as metas de sustentabilidade da organização (ex: redução de emissões e uso de recursos) que devem orientar as decisões de compras.
		P2	Utilizar a AESA para priorizar as categorias de produtos (ou fornecedores) a serem analisados, com base nos seus riscos e oportunidades socioambientais.
D – Executar	Adotar critérios de compras que avaliem os <i>hotspots</i> ambientais dos produtos com base em referências de sustentabilidade absoluta.	D1	Estabelecer especificações técnicas e critérios de compras que incorporem formalmente as análises da AESA.
		D2	Selecionar fornecedores com base, primordialmente, nas especificações e critérios de sustentabilidade absoluta (AESA) que foram definidos.
C – Verificar	Monitorar as fases de seleção e gestão de contratos para verificar a conformidade dos fornecedores com os critérios de sustentabilidade absoluta (AESA).	C1	Integrar métricas e indicadores de desempenho baseados em AESA no processo de gestão de contratos com fornecedores.
		C2	Monitorar o desempenho dos fornecedores e, com base nos resultados, criar planos de melhoria contínua para o seu desempenho ambiental absoluto.
A – Agir	Utilizar o aprendizado das etapas anteriores para corrigir falhas e aprimorar continuamente o processo de compras sustentáveis.	A1	Realizar uma avaliação crítica ao final do processo para verificar se os objetivos de sustentabilidade (AESA) da compra foram alcançados.
		A2	Realizar uma análise crítica periódica da estratégia de compras para garantir que ela evolua e contribua para as metas de sustentabilidade absoluta da organização.

Fonte: elaborado pela autora.

4.4.2 Perfil dos especialistas

O índice de resposta foi de 52%, com a participação de 13 dos 25 especialistas convidados.

Para garantir a confiabilidade dos dados, procedeu-se a duas etapas de avaliação. A primeira visou assegurar a adequação do perfil dos respondentes ao objetivo da avaliação do FP-AESA. Nessa etapa, excluiu-se o Especialista 8, que declarou não possuir experiência em avaliação ambiental da sustentabilidade. A segunda análise verificou a existência de linearização de respostas (*straight lining*), resultando na exclusão do Especialista 4, que atribuiu a mesma pontuação a todos os itens, o que pode comprometer a qualidade dos dados (Kim *et al.*, 2019). Dessa forma, a amostra final foi composta por 11 especialistas.

A seção inicial do instrumento coletou dados demográficos e profissionais. Quanto à localização das organizações, a maioria dos respondentes atua no Brasil (72,73%; $n = 8$), seguidos pela Dinamarca (18,18%; $n = 2$) e pelo Japão (8,33%; $n = 1$). No que tange à formação acadêmica dos especialistas, destacam-se a Ciência e Engenharia Ambiental (45,45%; $n = 5$), seguido da Engenharia de Produção (27,27%; $n = 3$) e as Ciências Florestais, Administração e Economia com uma ocorrência cada (9,09%, $n = 1$), conforme detalhado na Tabela 9.

Tabela 9 - País de atuação, tipo de organização de vinculação e formação acadêmica em nível de pós-graduação *stricto sensu* do especialista

Variáveis	Frequência	%
País	Brasil	8 72,73%
	Dinamarca	2 18,18%
	Japão	1 9,09%
	Total	11 100%
Organização	Universidade	9 81,82%
	Centro de Pesquisa	1 9,09%
	Org. Internacional	1 9,09%
	Total	11 100%
Formação <i>stricto sensu</i> (mestrado ou doutorado)	Ciências Florestais	1 9,09%
	Ciência e Engenharia Ambiental	5 45,45%
	Administração	1 9,09%
	Engenharia de Produção	3 27,27%
	Economia	1 9,09%
	Total	11 100%

Fonte: elaborada pela autora.

Em relação aos tipos de organização onde os especialistas atuam (Tabela 9), observou-se o predomínio das universidades (81,82%, $n = 9$), seguido por centro de pesquisa e organismo internacional, com uma ocorrência cada (9,09%, $n = 1$).

Quanto ao cargo exercido pelos especialistas, notou-se uma distribuição entre ocupantes de funções relacionadas à pesquisa, à docência e à coordenação de programas (64%, $n = 7$), seguido pelas funções administrativas (36%, $n = 4$). Destaca-se que a média de experiência profissional dos especialistas é de 10 anos.

Para complementar as análises e discussões, os grupos foram organizados em duas categorias, a saber: Grupo 1- Administrativo e Grupo 2 - Pesquisador, como disponibilizado na Tabela 10.

Tabela 10 - Tipo de cargo ou função de atuação agrupados

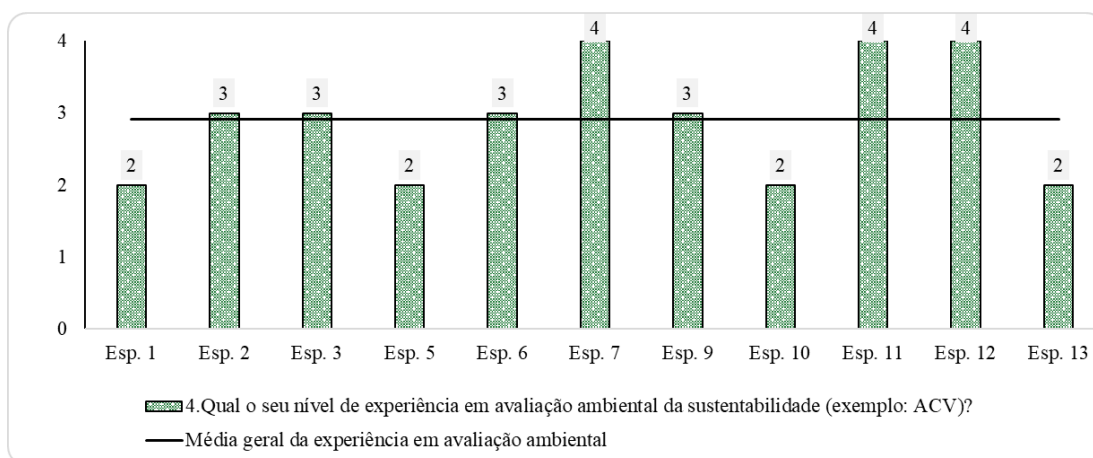
Cargo ou função agrupados	Frequência	%
G1 – Administrativo	4	36%
G2 – Pesquisador	7	64%
Total	11	100%

Fonte: elaborada pela autora.

Nota: Compõe o Grupo 1 – Administrativo os especialistas que declararam ocupar cargos administrativos. Enquanto o Grupo 2 – Pesquisador é formado por docentes, pesquisadores e oficiais de organismos internacionais.

Quanto ao nível de experiência dos respondentes (Figura 23), os resultados indicam um perfil diversificado, sendo que cerca de 64% ($n=7$) possuem nível de experiência avançado em avaliações ambientais.

Figura 23 - Nível de experiência dos especialistas em avaliação ambiental da sustentabilidade



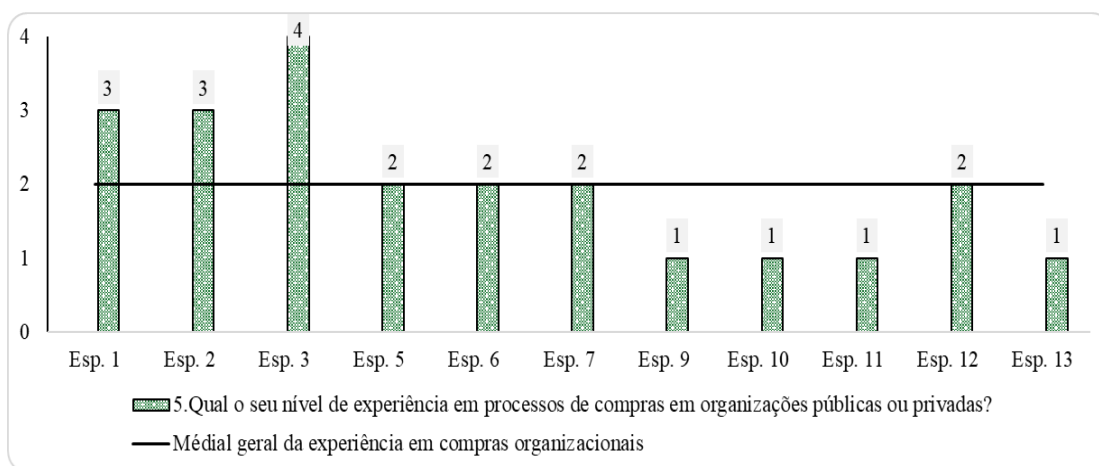
Fonte: elaborada pela autora.

Nota: O nível de experiência varia de 0 a 4, sendo que 0 corresponde a nenhuma experiência e 4 como perito no tema. A linha corresponde ao valor médio da experiência declarada pelos 11

especialistas selecionados. O Especialista 8 não foi selecionado para análise por declarar não possuir nenhuma experiência em avaliação da sustentabilidade ambiental. O Especialista 4 foi excluído por atribuir o mesmo valor para todas as questões.

Quanto à experiência em compras organizacionais (Figura 24), 27% ($n = 3$) declararam possuir experiência avançada nesse tipo de processo.

Figura 24 - Nível de experiência dos especialistas em processos de compras em organizações públicas ou privadas



Fonte: elaborada pela autora.

Nota: O nível de experiência varia de 0 a 4, sendo que 0 corresponde a nenhuma experiência e 4 como perito no tema. A linha corresponde ao valor médio da experiência declarada pelos 12 especialistas selecionados. O Especialista 8 não foi selecionado para a análise por declarar não possuir nenhuma experiência em avaliação da sustentabilidade ambiental. O Especialista 4 foi excluído por atribuir o mesmo valor para todas as questões.

4.4.3 Resultado da avaliação do FP-AESA

4.4.3.1 Avaliação geral do FP-AESA

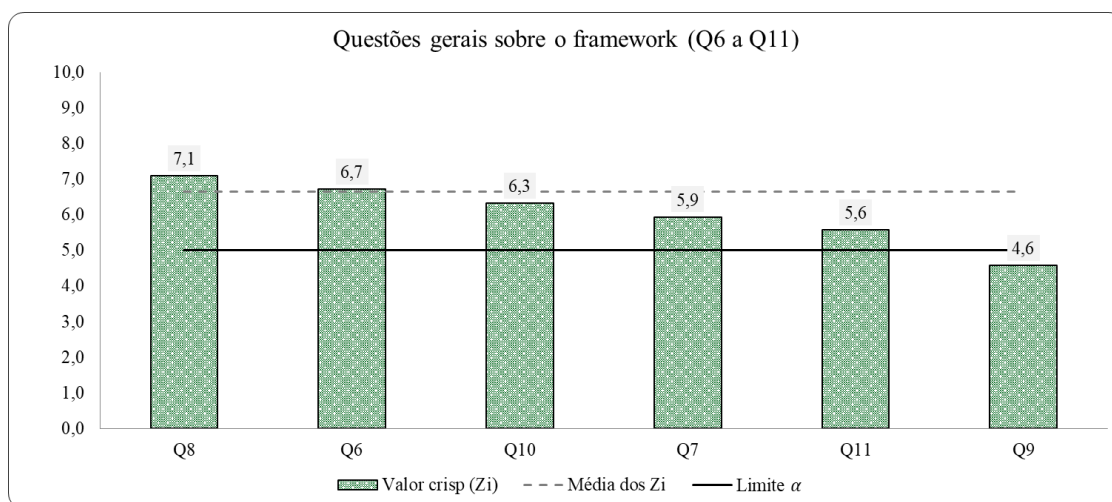
Para garantir o anonimato dos especialistas, os dados são apresentados de forma tabulada e agrupada (Apêndice B), sem a disponibilização dos dados brutos. A segunda seção do questionário avaliou o *framework* quanto ao formato, linguagem, relevância e viabilidade. Nessa etapa, os valores *crisp* das questões 6 a 11, considerando os 11 especialistas selecionados, variaram entre 4,6 e 7,3, conforme detalhado na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultados da avaliação das questões sobre forma e linguagem do FP-AESA (questões 6 a 11)

ID	Questão	Número <i>crisp</i> (Z_i)
Q6	Em uma escala de 0 a 10, qual a importância das compras sustentáveis no setor de alimentos para você?	7,3
Q7	Em uma escala de 0 a 10, qual a relevância das diretrizes do <i>framework</i> FP-AESA para as organizações do setor de alimentos?	5,9
Q8	Em uma escala de 0 a 10, qual o nível de alinhamento entre as diretrizes e as ações propostas no <i>framework</i> FP-AESA?	7,1
Q9	Avaliando o <i>framework</i> , indique seu nível de concordância com a afirmação: “A implementação deste <i>framework</i> é viável para a maioria das organizações do setor, considerando os recursos e conhecimentos disponíveis atualmente.”	4,6
Q10	Por favor, indique seu nível de concordância com a seguinte afirmação: “O <i>framework</i> apresentado aborda de forma abrangente os aspectos essenciais para a realização de compras sustentáveis no setor de alimentos.”	6,3
Q11	Pensando no público-alvo do <i>framework</i> (ex: gestores de compras, gestores públicos, analistas de sustentabilidade), por favor, indique seu nível de concordância com a seguinte afirmação: “A linguagem e a estrutura do <i>framework</i> são claras e de fácil compreensão.”	5,6

Fonte: elaborada pela autora.

Os resultados indicam que a relevância das compras sustentáveis e do FP-AESA obteve Z_i superior ao limite alfa e à média geral (Figura 25). A importância das compras sustentáveis no setor de alimentos (Questão 6) atingiu Z_i de 7,3, enquanto a relevância das diretrizes do FP-AESA (Questão 7) registrou 5,9. A articulação entre diretrizes e ações (Questão 8) obteve a maior avaliação, com 7,1. Quanto à abrangência para o setor de alimentos (Questão 10), o valor *crisp* foi de 6,3. Em contrapartida, a sua viabilidade perante os recursos e conhecimentos atuais das organizações (Questão 9) apresentou o menor índice: 4,6, valor inferior ao alfa. Por fim, a linguagem e a estrutura (Questão 11) receberam Z_i de 5,6, superando o limite alfa, embora abaixo da média dos demais quesitos.

Figura 25 – Avaliação das questões gerais sobre o *framework* (Q6 a Q11)

Fonte: elaborada pela autora.

Nota: A linha contínua representa o limite alfa. A linha tracejada indica a média dos Zi.

4.4.3.2 Avaliação das diretrizes e ações do FP-AESA

Na avaliação das diretrizes e ações propostas pelo *framework*, todas as questões obtiveram números *crisp* com valor superior ao alfa, variando de 6,3 a 7,8, como poderá ser conferido na Tabela 12 e Figura 26.

Tabela 12 - Resultados da avaliação das questões sobre as diretrizes e ações propostas pelo FP-AESA (questões 12 a 23)

ID	Questão	Número <i>crisp</i> (Zi)
Q12	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz para as compras sustentáveis: Diretriz: "P - Considerar nas decisões de compra os <i>hotspots</i> ambientais, usando referências da sustentabilidade absoluta."	7,1
Q13	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "P1 - Usar a AESA a partir de abordagem simplificada (<i>screening approach</i>) ou detalhada (<i>in-depth approach</i>) para definir as metas de sustentabilidade da organização (ex: redução de emissões e uso de recursos) que devem orientar as decisões de compras."	7,0
Q14	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "P2 - Utilizar a AESA para priorizar as categorias de produtos (ou fornecedores) a serem analisados, com base nos seus riscos e oportunidades socioambientais."	6,3

Q15	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz: Diretriz: "D - Adotar critérios de compras que avaliem os <i>hotspots</i> ambientais dos produtos com base em referências de sustentabilidade absoluta"	6,4
Q16	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "D1 - Estabelecer especificações técnicas e critérios de compra que incorporem formalmente as análises da AESA."	6,3
Q17	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "D2 - Selecionar fornecedores com base, primordialmente, nas especificações e critérios de sustentabilidade absoluta (AESA) que foram definidos."	7,1
Q18	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz: Diretriz: "C - Monitorar as fases de seleção e gestão de contratos para verificar a conformidade dos fornecedores com os critérios de sustentabilidade absoluta (AESA)"	7,2
Q19	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "C1 - Integrar métricas e indicadores de desempenho baseados em AESA no processo de gestão de contratos com fornecedores."	6,5
Q20	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "C2 - Monitorar o desempenho dos fornecedores e, com base nos resultados, criar planos de melhoria contínua para o seu desempenho ambiental absoluto."	6,5
Q21	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz: Diretriz: "A - Utilizar o aprendizado das etapas anteriores para corrigir falhas e aprimorar continuamente o processo de compras sustentáveis."	7,0
Q22	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "A1 - Realizar uma avaliação crítica ao final do processo para verificar se os objetivos de sustentabilidade (AESA) da compra foram alcançados."	7,8
Q23	Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave: Ação-chave: "A2 - Realizar uma análise crítica periódica da estratégia de compras para garantir que ela evolua e contribua para as metas de sustentabilidade absoluta da organização."	7,5

Fonte: elaborada pela autora.

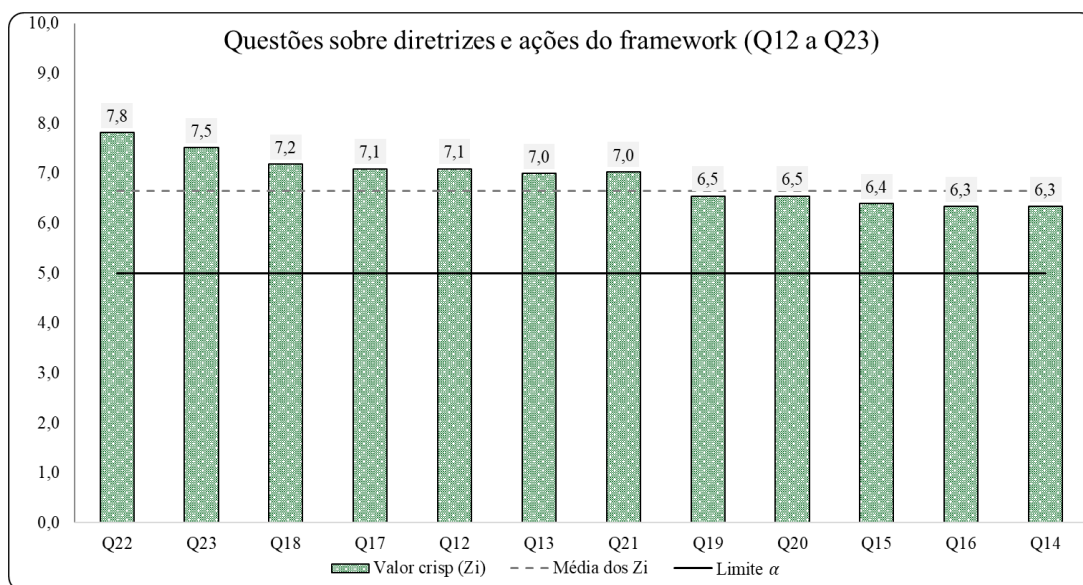
Para a fase de planejamento, os resultados demonstram uma percepção favorável e consistente entre os especialistas, com valores com números *crisp* situado entre 6,3 e 7,1. A diretriz voltada à integração de *hotspots* ambientais e referências de sustentabilidade absoluta nas decisões de compra (Q12) obteve o índice de 7,1. Um patamar de importância semelhante ($Z_i = 7$) foi atribuído à definição de metas organizacionais por meio da AESA (Q13), independentemente da adoção de abordagens simplificada (*screening*) ou aprofundada (*in-depth*). Por fim, a aplicação da AESA como ferramenta para a priorização de categorias de

produtos ou fornecedores, com base em riscos e oportunidades (Q14), registrou a pontuação de 6,3.

Os resultados referentes à etapa de execução ("D") demonstram índices de aceitação, com números *crisp* situados entre 6,3 e 7,1. A diretriz focada na adoção de critérios de compra baseados em *hotspots* ambientais e limiares de sustentabilidade absoluta obteve avaliação 6,4 (Q15). No âmbito das ações-chave, o estabelecimento de especificações técnicas que incorporem formalmente as análises da AESA (D1) também registrou o valor 6,3 (Q16). Por fim, a seleção de fornecedores fundamentada primordialmente em critérios de sustentabilidade absoluta (D2) alcançou o maior índice desta etapa, com 7,1 (Q17).

Para a etapa de monitoramento ("C"), os valores *crisp* variaram de 6,5 a 7,2. A diretriz voltada à verificação da conformidade dos fornecedores perante os critérios de sustentabilidade absoluta (AESA) obteve o índice de 7,2 (Q18). Quanto às ações operacionais, a integração de métricas de desempenho baseadas em AESA à gestão de contratos (C1) e o monitoramento do desempenho ambiental absoluto para a criação de planos de melhoria contínua (C2) registraram, ambos, o valor de 6,5 (Q19 e Q20). Essa pontuação indica um consenso entre os especialistas sobre a importância de vincular a avaliação absoluta ao controle sistemático com os fornecedores.

Para a fase do agir ("A"), os resultados indicam o mais alto nível de concordância entre os especialistas, com valores *crisp* de 7,0 a 7,8. A diretriz focada no aprendizado organizacional e no aprimoramento contínuo do processo de compras sustentáveis obteve o índice de 7,0 (Q21). No detalhamento das ações-chave, a realização de uma avaliação crítica para verificar o alcance dos objetivos de sustentabilidade (AESA) em cada compra (A1) registrou 7,8 (Q22). De forma complementar, a análise periódica da estratégia de compras para garantir seu alinhamento às metas de sustentabilidade absoluta da organização (A2) alcançou a pontuação de 7,5 (Q23). Estes dados sugerem que a etapa de revisão estratégica é percebida como relevante para a eficácia e evolução do *framework*.

Figura 26 - Avaliação das questões sobre diretrizes e ações do *framework* (Q12 a Q23)

Fonte: elaborada pela autora.

Nota: A linha contínua representa o limite alfa. A linha tracejada indica a média dos Zi.

Conforme ilustrado na Figura 26, os menores valores (6,3 e 6,4) são correspondentes à fase de planejamento, na etapa de priorização das categorias de produtos e fornecedores à luz dos riscos e oportunidades (Q14; $Z_i = 6,3$) e na etapa de ação com ênfase nas especificações técnicas (Q16; $Z_i = 6,3$) e na adoção de critérios de compras baseados em sustentabilidade absoluta (Q15; $Z_i = 6,4$).

Em contrapartida, os maiores números *crisp* foram registrados nas ações da fase de ajuste e retroalimentação do ciclo, na avaliação crítica se os objetivos da AESA foram alcançados (Q22, $Z_i = 7,8$) e análise crítica da estratégia de compras da organização (Q23, $Z_i = 7,5$).

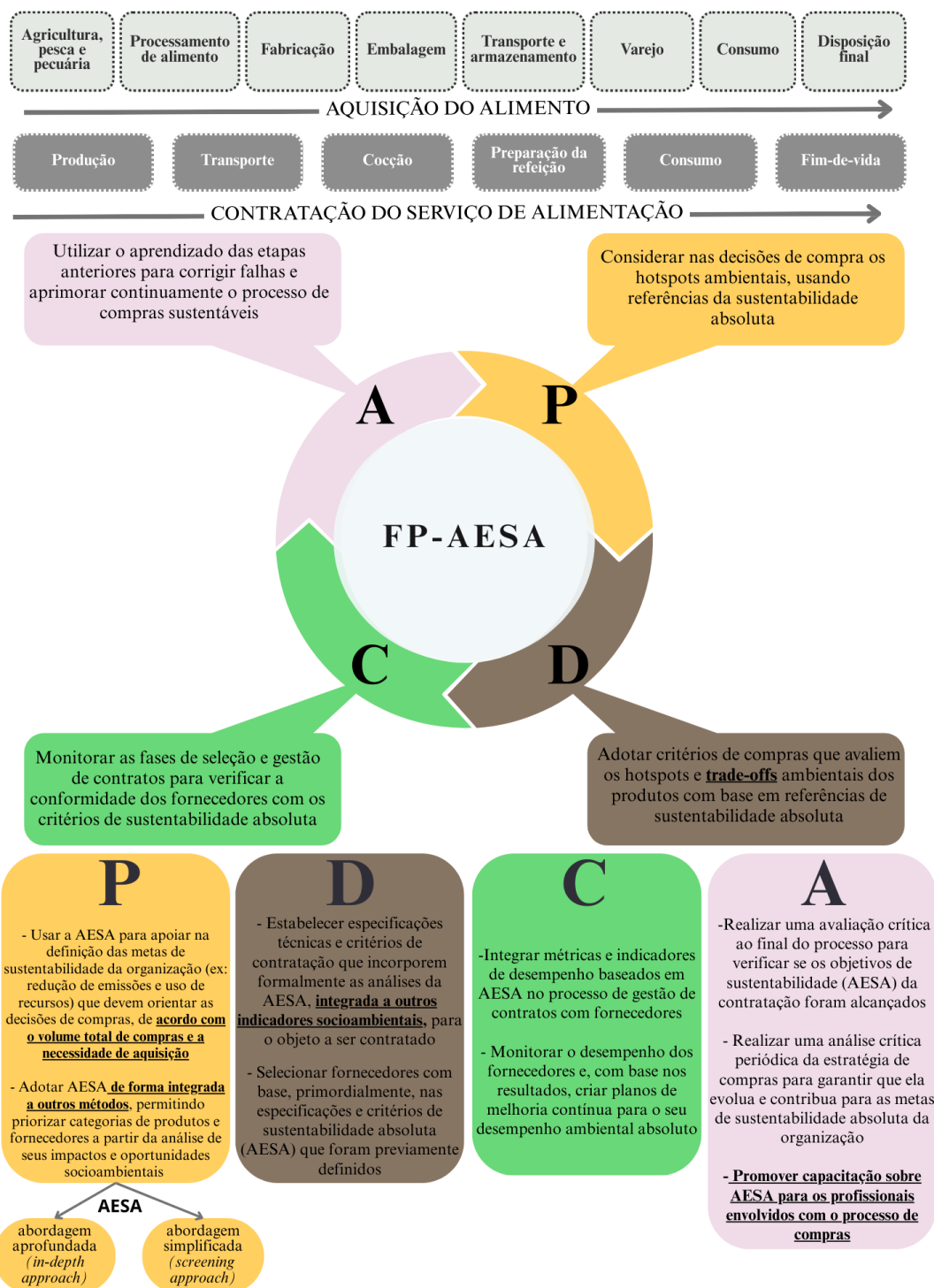
No âmbito qualitativo, 63% dos especialistas ($n = 7$) apresentaram sugestões ou críticas. Essas considerações, coletadas na questão 23, foram organizadas por temática e estão transcritas integralmente no Apêndice C.

4.4.3.3 Refinamento do FP-AESA a partir da avaliação de especialistas

Com base na avaliação dos especialistas, o FP-AESA foi refinado (Figura 27). Na fase de planejamento (P), incluíram-se o volume total e a necessidade de aquisição como critérios, além da integração da AESA a outros métodos. Na etapa de execução (D), foram incorporados

critérios de compra para avaliação de *hotspots* e *trade-offs*. Por fim, na fase de agir (A), inseriu-se a capacitação sobre AESA para os profissionais do processo de compras.

Figura 27 – FP-AESA refinado após avaliação dos especialistas



Fonte: elaborada pela autora.

Notas: Em destaque (negrito e sublinhado) os trechos alterados e inclusões no *framework* a partir da validação pelos especialistas

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1 DISCUSSÃO SOBRE A REVISÃO EXPLORATÓRIA

Wolf *et al.* (2017) apresentam o que pode ser considerada a primeira aplicação da AESA voltada a sistemas alimentares. O estudo diferencia-se por comparar o *portfólio* de produtos de uma empresa varejista, no caso, o grupo *Casino*, com a sua respectiva parcela do espaço seguro global. A análise concentrou-se, majoritariamente, em alimentos de origem francesa. Essa delimitação geográfica expõe a necessidade de discussões sobre o papel dos alimentos importados. Conforme apontado por Liao *et al.* (2023), é fundamental considerar como ocorrem as transferências globais de transgressões das fronteiras nacionais para fins alimentares. Esse cenário é particularmente relevante para países como o Brasil, que, na condição de grande exportador de alimentos, exemplifica a complexidade de atribuir responsabilidades ambientais em cadeias de suprimentos internacionalizadas, como as *commodities* agrícolas. Todavia, nos estudos de caso 1 e 2 desta tese, a importação e exportação de alimentos não foi um elemento considerado, tendo em vista que os alimentos avaliados são majoritariamente de produção doméstica, isto é, provenientes do Brasil.

O estudo de Wolf *et al.* (2017) é uma exceção na literatura analisada ao focar no setor de varejo. De modo geral, o propósito das pesquisas varia substancialmente, concentrando-se predominantemente em escalas nacionais ou alimentos em nível de produto. As aplicações de sustentabilidade absoluta em sistemas alimentares situam-se, em geral, no âmbito dos sistemas de produção, a exemplo de Bjørn *et al.* (2020b, 2020c), ou em análises de consumo em nível nacional, conforme pode ser observado em Moberg *et al.* (2020), Lucas *et al.* (2021), Hallström *et al.* (2022), Kirwan *et al.* (2023), Goss e Sherwood (2024) e Jacobsen *et al.* (2025). Por outro lado, são escassos os estudos voltados a escalas menores de consumos, como dietas ou refeições de grupos específicos, como demonstrado pelo estudo de caso 2 desta tese. Uma exceção é o trabalho de Whitener *et al.* (2021), que comparou as dietas de universitários americanos antes e após uma intervenção educacional (*baseline* e *follow-up*). Comparado ao estudo de Whitener *et al.* (2021), os resultados do estudo de caso 2 corroboram a insustentabilidade em mudanças climáticas, com emissões superiores aos limites planetários.

Embora a ACV seja o método predominante nos estudos selecionados, observa-se o emprego de pegadas ambientais integradas à lógica da sustentabilidade absoluta. Wu *et al.* (2025), por exemplo, propõem o *Footprint-AEB*, que articula pegadas ambientais a limites agroecológicos regionais. No entanto, o uso isolado de indicadores de pegada apresenta

limitações críticas; conforme discutido por Fang e Heijungs (2015), ignorar a interconexão entre diferentes categorias pode resultar na transferência de impactos ambientais entre diferentes compartimentos ou estágios do ciclo de vida. Por outro lado, a pegada ambiental tem características que facilitam a comunicação com os tomadores de decisão, políticos e consumidores (Potter e Ross, 2021). Tal característica mostrou-se relevante no Estudo de Caso 1, ao possibilitar a contabilidade ambiental com base nos indicadores ambientais disponíveis para os alimentos consumidos no Brasil.

Diante da inexistência de uma fonte única e abrangente que cubra todas as categorias de impacto, conforme observado por Bjørn *et al.* (2020a), as estimativas de capacidade de suporte, nos estudos analisados, derivam de revisões de diferentes fontes bibliográficas. Para o contexto analisado, segundo resultados da revisão exploratória (Seção 4.1), o SOS Food introduzido pela Comissão EAT-Lancet (Willett *et al.*, 2019) e recentemente atualizado por Rockström *et al.* (2025), posiciona-se como o referencial mais adotado em diversas escalas de análise no âmbito dos sistemas alimentares. Uma característica relevante dessa abordagem reside no fato de que, enquanto a maioria dos limites é definida por restrições biofísicas, o teto para as mudanças climáticas foi estabelecido com base na viabilidade de redução das emissões do sistema alimentar. Esse cenário pressupõe uma trajetória compatível com o limite superior a 1,5 °C, partindo da premissa de que essa meta não seria atingível mesmo em um cenário de emissões líquidas zero de CO₂, provenientes de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra, até 2050 (Rockström *et al.*, 2025).

Embora alguns estudos realizem a comparação direta dos impactos relativos com os limites da Comissão EAT-Lancet, ressalta-se que os limites para a produção e o consumo de alimentos são, em sua maioria, de natureza biofísica. Portanto, a harmonização entre os dados de impacto relativo e os limites de capacidade de suporte deve ser conduzida com cautela, garantindo a consistência entre as unidades e as fronteiras do sistema avaliado. Por isso mesmo, que o *framework* FP-AESA pode ser de grande valia para a gestão de compras sustentáveis de alimentos, visto que ele foi desenhado para considerar a natureza dos indicadores ambientais.

Em relação à alocação do espaço seguro para os sistemas alimentares nas diferentes escalas analisadas, os resultados indicam o predomínio de estudos que adotam o princípio do igualitarismo (EPC). Essa escolha, como observado por Moberg *et al.* (2020), facilita a comparação direta entre o consumo de diferentes nações, diante da ausência de um consenso sobre qual critério de justiça distributiva deve prevalecer em estudos de sustentabilidade absoluta (Ryberg *et al.*, 2020). Todavia, o FP-AESA recomenda que além do EPC sejam adotados os princípios baseados no suficientismo que considerem, por exemplo, as

características calóricas e nutricionais dos alimentos, como exposto nas Seções 4.2.7 e 4.3.7, fundamentando-se na premissa de que a nutrição é uma necessidade básica para o ser humano.

A literatura também apresenta divergências na aplicação de critérios baseados em funções nutricionais. Enquanto o método baseado em calorias foi adotado em estudos conduzidos por Chandrakumar *et al.* (2019) e Ghani *et al.* (2023a, 2023b), essa adoção foi caracterizada por uma perspectiva utilitarista, baseada na utilidade energética do alimento que considerou a oferta calórica ampla em um país (*food supply*) em detrimento das necessidades do indivíduo. Em contraste, Heide, Hauschild e Ryberg (2023) introduziram uma abordagem fundamentada no suficientismo (*Fulfilment of Human Needs* - FHN). De acordo com os autores, diferente de outros métodos que podem ignorar comportamentos insustentáveis já refletidos em estatísticas nacionais de gastos ou emissões, o princípio FHN busca internalizar a mudança no comportamento humano e aloca as parcelas de consumo a partir das recomendações do SOS Food (Rockström *et al.*, 2025).

5.2 DISCUSSÃO SOBRE OS ESTUDOS DE CASO

5.2.1 Detalhamento sobre as metodologias adotadas nos estudos de caso

O Quadro 15 resume as principais diferenças nas abordagens de AESA simplificada e aprofundada, adotadas nos estudos de caso 1 e 2.

Quadro 15 – Quadro comparativo das abordagens adotadas nos estudos de caso

Fronteira do sistema	AESA simplificada	AESA aprofundada
Berço-à-porteira	*	X
Berço-à-indústria	*	X
Berço-ao-supermercado	*	X
Berço-à-cozinha	*	X
Berço-ao-túmulo	*	X
Escala da fronteira	AESA simplificada	AESA aprofundada
Global (SOS Global)	-	X
Setorial (SOS Food)	X	-
Fronteira planetária	AESA simplificada	AESA aprofundada

Mudanças climáticas	X	X
Mudança no uso da água doce	X	X
Fluxos biogeoquímicos: fósforo	-	X
Fluxos biogeoquímicos: nitrogênio	-	X
Depleção do ozônio estratosférico	-	X
Integridade da biosfera	-	-
Acidificação do oceano	-	-
Mudanças no uso da terra	-	-
Concentração de aerossóis atmosféricos	-	-
Novas entidades	-	-
Princípio de alocação	AESA simplificada	AESA aprofundada
Igualitário	X	X
Suficientismo baseado em calorias	X	X
Suficientismo baseado em nutrientes	X	X
Capacidade de pagamento baseado em PIB	X	X
Capacidade de pagamento baseado em despesas	X	X
Capacidade de pagamento baseado em valor adicionado bruto	X	X

Fonte: elaborado pela autora.

Nota: * A base de dados de pegadas ambientais dos alimentos consumidos no Brasil (Garzillo *et al.*, 2019) apresentam variações na fronteira do sistema.

A aplicação da AESA simplificada (*screening approach*) para os alimentos mais adquiridos no Brasil concentrou-se em indicadores críticos: emissões de GEE e recursos hídricos. As emissões de GEE são apontadas por Steffen *et al.* (2015) como um dos principais limites planetários, devido ao seu potencial de influência sobre outros processos terrestres. Já o monitoramento dos recursos hídricos enfrenta incertezas metodológicas, sobretudo pela ausência frequente de indicadores de escassez hídrica local nessas avaliações.

A AESA simplificada para alimentos em sua forma de comercialização (*in natura* ou processados, sem preparo) utilizou as pegadas de carbono (CF) e hídrica (WF) para o contexto brasileiro, provenientes da base de dados de Garzillo *et al.* (2019). Essa abordagem mostra-se

viável, a despeito das incertezas inerentes às estimativas de tais indicadores. Embora essas pegadas sejam derivadas da ACV, faz-se necessário considerar as disparidades metodológicas e regionais que influenciam os resultados.

Por outro lado, observa-se uma convergência da CF e da WF com os processos do sistema terrestre e com as variáveis de controle do PB de Steffen *et al.* (2015), especificamente no que tange às mudanças climáticas e ao uso da água doce, o que facilita a aplicação do *framework* FP-AESA a partir de uma abordagem simplificada.

Uma limitação identificada na base de dados de Garzillo *et al.* (2019), referente ao contexto brasileiro, diz respeito às fronteiras do sistema, que apresentam variações e nem sempre contemplam o escopo "do berço ao varejo". A adoção de uma fronteira de sistema padronizada, como "do berço ao supermercado" (Karlsson Potter; Röö, 2021), apresenta-se como uma oportunidade para pesquisas futuras sobre pegadas de alimentos no Brasil. Tais disparidades nas fronteiras das pegadas, na abrangência geográfica e nos métodos aplicados inserem incertezas adicionais à AESA para alimentos.

Com o intuito de mitigar as incertezas atreladas aos dados de pegada ambiental, recomenda-se a ampliação da disponibilidade de Declarações Ambientais de Produto (EPDs) para o setor de alimentos no Brasil. Ao contrário da realidade observada na União Europeia, onde itens processados, como pães e massas, já contam com rotulagem consolidada, o mercado nacional apresenta uma carência de dados específicos, o que limita a capacidade de orientação tanto de consumidores quanto da indústria.

Considerando a escassez de dados primários para avaliações absolutas no contexto brasileiro, a utilização de pegadas ambientais mostra-se uma alternativa viável para o cálculo da AESA, conforme corroborado por Karlsson Potter e Röö (2021) e Huang *et al.* (2020). Consequentemente, tal abordagem foi integrada à estrutura simplificada do FP-AESA.

A Pesquisa de Orçamentos Familiares (IBGE, 2019) revela padrões de consumo que refletem a utilidade dos produtos para os indivíduos, dimensão considerada crítica por Ryberg *et al.* (2020). Uma vez que a AESA (estudo de caso 1) focou nos produtos na forma em que são adquiridos (excluindo-se o preparo ou cocção), os dados estatísticos de aquisição mostraram-se adequados para estimar o perfil de consumo dos lares brasileiros, representando o *status quo* do consumo de alimentos domiciliar (Eberle e Mumm, 2024). Contudo, tais registros não dispõem de detalhamento suficiente para permitir uma análise aprofundada das causas diretas dos impactos ou das transgressões dos limites planetários. Dessa forma, na proposta de AESA aprofundada (*in-depth approach*) para serviços de alimentação, que considera as preparações tal como são consumidas, o diferencial reside na estimativa da carga ambiental realizada por

meio da ACV. Embora apresente maior complexidade operacional, o que pode restringir sua aplicação em organizações de menor porte, a ACV oferece um diagnóstico abrangente sobre diversas categorias de impacto, permitindo a análise de *trade-offs*, e não se restringindo ao consumo de água doce e emissões de GEE.

Um diferencial do FP-AESA, em sua abordagem aprofundada, consiste na adoção do método de AICV EF 3.0, em conformidade com Sala *et al.* (2020). Ressalta-se, contudo, que não são todas as categorias de impacto desse método que apresentam correspondência direta com os limites planetários de Steffen *et al.* (2015), conforme alertado por Paulillo *et al.* (2026). Adicionalmente, o guia do JRC 142099 para a integração entre AESA e ACV (Bjørn *et al.*, 2025) recomenda o uso de categorias em nível *midpoint*, visto que a AESA foca em pressões ambientais e não em indicadores de saúde humana. Com base na análise de conexão entre as categorias, selecionaram-se para a avaliação da sustentabilidade absoluta da refeição (estudo de caso 2): uso da água (WU), mudanças climáticas (CC), eutrofização marinha (MEU), eutrofização de água doce (FEU) e depleção da camada de ozônio (ODP).

Uma distinção fundamental entre os métodos de AESA aplicados nesta tese reside no referencial adotado. A abordagem simplificada utiliza como parâmetro o SoS Food, que representa os limites planetários específicos para sistemas alimentares estimados pela Comissão EAT-Lancet (Rockström *et al.*, 2025). Por outro lado, a AESA aprofundada fundamentou-se nos limites globais estabelecidos por Sala *et al.* (2020) via normalização dos PBs, os quais abrangem a totalidade das atividades antropogênicas.

5.2.2 Escolhas de justiça distributiva para alocação do espaço seguro em AESA de alimentos

As definições normativas para a partilha do SOS nos dois estudos de caso priorizaram a perspectiva do indivíduo (Ryberg *et al.*, 2020) e o acesso à alimentação saudável e sustentável, além de considerarem a disponibilidade de dados para a alocação. Conforme recomendado por Ryberg *et al.* (2020) e Bjørn *et al.* (2025), ante a ausência de consenso sobre a distribuição do espaço operacional para a atividade avaliada, adotaram-se diferentes éticas distributivas. Entre tais teorias, destacam-se o suficientismo, focado no suprimento de calorias e nutrientes essenciais, e a abordagem que privilegia nações com menores indicadores de riqueza e maior densidade populacional. Adicionalmente, aplicou-se a divisão igualitária per capita, considerada a métrica mais viável para fins comparativos (Ryberg *et al.*, 2020). Como previsto

na literatura, a aplicação de distintos princípios de compartilhamento gerou resultados divergentes.

No âmbito das considerações sobre ética distributiva, confrontam-se a garantia do aporte nutricional e a responsabilidade diferenciada entre nações desenvolvidas e em desenvolvimento. Os princípios normativos adotados enfatizam as dietas saudáveis como uma necessidade humana fundamental (O'Neill *et al.*, 2018) e o espaço seguro como uma responsabilidade compartilhada (Rockström *et al.*, 2025). Pesquisas precedentes que utilizaram a partilha calórica (Ghani *et al.*, 2023a, b; Mahmood *et al.*, 2023) pautaram-se na participação do arroz no setor agrícola global, valendo-se de indicadores como o *food supply* da FAO. Em contrapartida, de forma análoga à abordagem desta tese, os estudos como Goss e Sherwood (2024), Kytä *et al.* (2025b) e Freitas *et al.* (em preparação) adotaram como referência a ingestão calórica média diária recomendada para adultos na avaliação de refeições individuais.

Ressalta-se que a adoção de parâmetros estritamente energéticos exige cautela, devendo ser associada aos critérios de densidade nutricional, visto que o aporte calórico isolado não assegura a adequação dietética. Nesse sentido, a substituição de proteínas vegetais por fontes de carboidratos, visando exclusivamente à redução de impactos ambientais, mostra-se inadequada caso o equilíbrio nutricional não seja preservado (Karlsson Potter; Röö, 2021).

Sob outra perspectiva, a repartição do espaço seguro baseada na capacidade financeira das nações permanece um tema controverso (Häyhä *et al.*, 2016). Tal abordagem centraliza-se na responsabilidade histórica pelos danos ambientais, o que fundamenta a imposição de cotas mais restritivas para nações de alta renda. Paralelamente a essa distribuição de esforços, faz-se necessária a redução do consumo e a mitigação do desperdício de alimentos, problemática que atinge cerca de 19% da produção global (United Nations Environment Programme, 2025) e compromete a eficácia de qualquer modelo de alocação de espaço seguro.

5.2.3 Trade-offs que precisam ser considerados na AESA de alimentos para apoiar as decisões de compras sustentáveis

Um aspecto relevante identificado nos componentes da dieta tradicional brasileira reside na elevada pegada de carbono do arroz, em contrapartida ao uso mais intensivo de recursos hídricos demandado pelo feijão. Embora o cultivo de leguminosas contribua para a fixação de nitrogênio e a recuperação do solo, tais benefícios ecossistêmicos nem sempre são integrados às avaliações de impacto ambiental convencionais. Nesse contexto, o incentivo ao consumo dessas culturas como alternativas à proteína animal viabiliza uma redução substancial dos

impactos ambientais globais (Kyttä *et al.*, 2025b). Todavia, apesar da relevância cultural e dos benefícios nutricionais da combinação arroz e feijão, observou-se um declínio em seu consumo no Brasil (EMBRAPA, 2025).

Por outro lado, alimentos com alta densidade energética, tais como batata e laticínios, podem apresentar resultados favoráveis em termos de sustentabilidade absoluta. Ressalta-se, contudo, que uma avaliação pautada exclusivamente na dimensão energética poderia incentivar dietas calóricas em prejuízo da qualidade nutricional. A tomada de decisão em compras sustentáveis de alimentos deve, portanto, equilibrar três pilares fundamentais: a sustentabilidade absoluta (limites planetários), a viabilidade econômica (acesso ao alimento) e a segurança nutricional (valor energético e biológico das refeições).

5.2.4 Oportunidades a partir da AESA de alimentos para tomadores de decisão

A abordagem aprofundada da AESA permite que as organizações identifiquem *hotspots* que transcendem os ingredientes, abrangendo impactos relativos, por exemplo, ao transporte e às embalagens. Tal perspectiva envolve a avaliação voltada não apenas em emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), mas também nas perdas de nutrientes que desequilibram a estabilidade dos sistemas aquáticos (eutrofização), dentre outros impactos ambientais, uma vez que o sistema alimentar, em especial a agricultura, configura-se como a principal fonte de aportes de nitrogênio e fósforo para o ambiente (Poore e Nemecek, 2018; Springmann *et al.*, 2018).

Nesse sentido, as estratégias para a mitigação da eutrofização vinculam-se, primordialmente, aos ajustes no consumo de carne bovina, arroz e frango. Esses itens foram identificados como os principais pontos críticos (Figura 18) na refeição analisada (estudo de caso 2), contribuindo conjuntamente com 89,2% da eutrofização marinha total. Constatou-se que alterações na composição da refeição envolvendo esses três produtos também impactam significativamente as mudanças climáticas (69%) e o uso da água (91,2%), categorias nas quais tais alimentos apresentam elevada representatividade. De modo geral, observou-se que os alimentos *in natura* ou minimamente processados detiveram a maior contribuição nos impactos ambientais avaliados.

A análise da aquisição de alimentos em escala nacional mostra-se pertinente para o diagnóstico da composição de dietas e para a priorização de substituições estratégicas, especialmente no caso da carne bovina. Este item apresentou índices de insustentabilidade absoluta na maioria das alocações realizadas (Tabela 5), o que reforça a necessidade de transição para padrões como a Dieta de Saúde Planetária (Willett *et al.*, 2019). Ressalta-se que,

embora a carne bovina seja a principal fonte de emissões de GEE e de uso da terra, ela representa uma parcela minoritária das proteínas diárias consumidas na União Europeia (5%), nos Estados Unidos (12%) e no Brasil (15%) (Pasutto *et al.*, 2025).

No que tange aos valores estimados, a pegada de carbono para o consumo alimentar médio no Brasil foi calculada por Garzillo (2019) em 4,13 kg CO₂ eq. *per capita*/dia. Em contrapartida, Hafner *et al.* (2026) estimaram as emissões anuais brasileiras de aproximadamente 2,4 t CO₂ eq. *per capita*, o que corresponde a cerca de 7 kg CO₂ eq. *per capita*/dia.

Já as emissões do Restaurante Universitário, após normalização calórica para 2.000 kcal, totalizaram 10 kg CO₂ eq. *per capita*/dia. Constatou-se que todas essas estimativas superam o SOS Food da Comissão EAT-Lancet 2.0 para mudanças climáticas, projetado em 1,37 kg CO₂ eq. *per capita*/dia para uma população de 10 bilhões de pessoas em 2050.

Tal discrepância demonstra que os padrões atuais de consumo estão distantes das metas de sustentabilidade absoluta. Essa transgressão converge com os achados de Lucas, Guo e Guillén-Gosálbez, (2021) no Reino Unido e Moberg *et al.* (2020) na Suécia. Embora os limites da EAT-Lancet recebam críticas por representar uma perspectiva considerada conservadora quanto à (in)viabilidade da meta de 1,5 °C (Moberg *et al.*, 2020), o SOS Food permanece como a principal referência científica para a governança de sistemas alimentares sustentáveis.

No âmbito da gestão de compras sustentáveis, uma estratégia viável reside na mitigação do desperdício de alimentos, em consonância com a meta 12.3 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), e na análise de cenários de redução sob uma perspectiva absoluta (Lucas, Guo e Guillén-Gosálbez, 2021).

No contexto específico de restaurantes universitários, intervenções como a implementação de dias voltados ao consumo de proteínas vegetais, a exemplo do “Segunda sem Carne” (Lacerda *et al.*, 2013), ou o ajuste no tamanho das porções apresentam-se como mecanismos eficazes. Tais medidas também fomentam a adoção de dietas flexitarianas, conforme preconizado por Willett *et al.* (2019).

5.2.5 Limitações e oportunidades futuras para aplicações da AESA

Embora o método apresente avanços significativos, constataram-se diversas limitações e incertezas na avaliação absoluta de sistemas alimentares, as quais configuram um desafio técnico devido às imprecisões nos dados subjacentes (Karlsson Potter e Röö, 2021). Nesse cenário, os resultados da AESA devem ser interpretados como um indicativo da

sustentabilidade de categorias de alimentos, e não como valores determinísticos. Tal diagnóstico demanda avaliações críticas em pesquisas futuras, com o intuito de testar fontes de dados alternativas e abordagens complementares, a exemplo da proposta por Ryberg *et al.* (2018).

Outra limitação reside na combinação da Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TBCA) com os dados de Garzillo *et al.* (2019), que pode não representar integralmente os produtos disponíveis no mercado brasileiro. Logo, recomenda-se cautela na interpretação dos resultados. No entanto, a aplicação da AESA baseada em pegadas ambientais é adequada (rever estudo de caso 1), tendo em vista que o objetivo foi demonstrar como uma abordagem simplificada, do tipo *top-down*, sobre como a sustentabilidade absoluta pode ser incorporada à análise das compras sustentáveis de alimentos.

Para os alimentos mais adquiridos no Brasil, a recomendação de ingestão diária de nutrientes adotada considerou apenas o perfil de adultos. Uma abordagem mais precisa envolveria o cálculo específico para cada grupo populacional. No caso da AESA aplicada ao Restaurante Universitário (estudo de caso 2), a consideração do perfil adulto é pertinente, pois é condizente com as características predominantes dos usuários do serviço explorado.

Especificamente sobre o estudo de caso 2, a utilização de uma dieta de referência baseada na média *per capita* pode mascarar variações nos padrões alimentares individuais (Lucas, Guo e Guillén-Gosálbez, 2021). Além disso, a perspectiva nutricional adotada restringiu-se à soma do conteúdo nutricional e calórico, o que desconsidera interações eventualmente mais complexas entre os alimentos. Contudo, o propósito deste estudo não foi apresentar recomendações dietéticas, mas investigar a sustentabilidade de alimentos e refeições frente aos limites absolutos.

Os resultados da AESA, embora indicativos de conformidade com os limites planetários, devem ser complementados por outros critérios, como certificações ambientais ou requisitos legais (Karlsson Potter e Röö, 2021), principalmente no tocante às compras sustentáveis de alimentos, e por isso, o *framework* FP-AESA desta tese poderá ser útil para amparar futuras pesquisas e tomadores de decisões.

5.3 DISCUSSÃO SOBRE O FP-AESA

A integração da AESA às compras sustentáveis de alimentos fundamenta-se, inicialmente, nos pontos de intersecção com a ISO 20400 (conforme Seção 2.3.1), que embasaram o FP-AESA. A metodologia permitiu analisar a sustentabilidade absoluta dos

alimentos adquiridos (antes da cocção) até o ciclo de vida completo de refeições contratadas (estudos de caso 1 e 2), como exemplificado nas Seções 4.2 e 4.3.

A seleção do painel de especialistas refletiu a interdisciplinaridade inerente aos sistemas alimentares (Westengen *et al.*, 2025), ao integrar competências em avaliação ambiental, gestão administrativa e processos de aquisição. Embora os perfis apresentassem heterogeneidade, observou-se convergência na validação, fato que reforça a relevância da proposta FP-AESA. Entretanto, a viabilidade de aplicação do framework não é considerada universal, visto que depende do nível de maturidade institucional, da disponibilidade de pessoal especializado e do acesso a bases de dados e ferramentas de informação.

Depreende-se, portanto, que a implementação da AESA enfrenta desafios intrínsecos à natureza multifacetada dos sistemas alimentares (Seção 4.4.3). Questões como a escassez de dados biofísicos e ambientais, especialmente em contextos regionais, e os *trade-offs* socioambientais são questões inerentes à alimentação.

A viabilização do FP-AESA pressupõe o fomento à demanda por alimentos saudáveis e sustentáveis, uma transição que deve ser orientada pelas especificidades de cada contexto (Swinnen, 2024). Esse processo requer, primordialmente, a definição de uma dieta sustentável que respeite as particularidades da cultura alimentar regional e integre os guias nacionais aos critérios de sustentabilidade pautados nas fronteiras planetárias. A partir do estabelecimento dessa base normativa comum sobre o conceito de dieta sustentável para um determinado país ou região, torna-se possível identificar os principais *trade-offs* ambientais absolutos para fomentar políticas públicas. Tais evidências servirão, enfim, para subsidiar o desenho de políticas e metas setoriais quantitativas e específicas, voltadas aos sistemas alimentares.

Adicionalmente, deve-se considerar a subjetividade inerente à seleção dos critérios de justiça distributiva para a alocação do espaço operacional seguro (Rockström *et al.*, 2009), conforme examinado na seção 2.2.3. Tal componente normativo reforça que a definição de limites ambientais não é um processo puramente técnico, mas sim permeado por escolhas éticas e políticas. A organização deve decidir se prioriza indicadores econômicos, como o Valor Adicionado Bruto, ou a garantia de necessidades básicas, embora esta última possa exceder os limites planetários mais facilmente (Hjalsted *et al.*, 2021).

Embora seja alvo de críticas por sua simplicidade, a abordagem *per capita* configura-se como um ponto de partida útil para garantir a comparabilidade entre estudos (Ryberg *et al.*, 2020), além de mitigar conflitos com nações e mercados que divergem quanto à distribuição do espaço operacional. Contudo, faz-se essencial complementar tal análise com parâmetros orientados às necessidades individuais, fundamentados no suficientismo e no igualitarismo.

Ainda que a repartição baseada no valor econômico possa ser justificável sob certas perspectivas, sua adoção isolada mostra-se desaconselhável, visto que pode confrontar valores institucionais e a própria função biológica e essencial da alimentação.

Conforme proposto no FP-AESA, a aplicação da AESA deve iniciar-se ainda na fase de planejamento, em alinhamento aos objetivos organizacionais (Bjørn *et al.*, 2025). Em organizações públicas, a aquisição pode vincular-se a políticas públicas consolidadas, como as de alimentação escolar (Seção 2.4). Enquanto organizações de menor porte podem priorizar a substituição de insumos e a otimização de processos, integrando variáveis como consumo energético, densidade nutricional, logística e gestão de resíduos; as instituições de grande porte dispõem de maior capacidade analítica para avaliar *trade-offs* entre emissões de GEE, ciclos biogeoquímicos e recursos hídricos. Diante dessa diversidade de contextos e capacidades, o FP-AESA foi estruturado em duas frentes, a simplificada (*screening*) e a aprofundada (*in-depth*), visando conferir escalabilidade ao método e superar as limitações de implementação.

O FP-AESA é aplicável a diversos contextos e nações. Sua implementação depende da disponibilidade de dados ambientais e da escolha de princípios de compartilhamento que estejam alinhados às metas organizacionais e às particularidades locais.

A AESA deve ser integrada, preferencialmente, a instrumentos de governança como a rotulagem ambiental, as certificações de origem e as diversas modalidades de compras públicas. Ressalta-se, contudo, que os mercados locais e regulados (embora estratégicos) configuram-se como insuficientes para suprir, isoladamente, a demanda de uma população crescente sob a ótica dos limites planetários. Tal constatação reforça a necessidade de que essas iniciativas atuem como indutoras de uma transformação mais ampla nas cadeias de suprimentos globais.

Com o intuito de mitigar o risco de *greenwashing* derivado de avaliações sobre a sustentabilidade absoluta de produtos ou serviços de alimentação, a padronização dos critérios em termos certificáveis mostra-se essencial para assegurar a transparência e a fidedignidade da comunicação. No processo de tomada de decisão, torna-se fundamental considerar as compensações, ou *trade-offs* (conforme detalhado na seção 5.2.3), a fim de evitar que a substituição de um alimento com elevada ASR comprometa as dimensões nutricional e econômica. Tal cautela visa garantir o acesso universal a uma dieta saudável e sustentável, impedindo o agravamento das desigualdades no acesso ao espaço seguro e justo para a alimentação (Rockström *et al.*, 2025).

6 CONCLUSÕES

A integração da AESA às compras sustentáveis de alimentos pressupõe responder a múltiplas questões, que abrangem desde a seleção do SOS global até a definição de critérios de justiça distributiva. Adicionalmente, envolve a aplicação dos métodos de AESA e a proposição de um quadro lógico para a introdução do conceito nas organizações.

No âmbito dos referenciais de fronteiras planetárias, a Comissão EAT-Lancet (Willett *et al.*, 2019) consolidou-se como a base teórica predominante, fundamentando 48% dos estudos analisados ($n=16$). Observou-se, contudo, que a aplicação desses limites exige cautela em sua harmonização, visto que as fronteiras do SOS Food, embora sejam definidos como biofísicas, são em sua essência metas baseadas na Ciência (“*Science-Based Target*”), sendo necessário assegurar a consistência entre as unidades de medida e os limites do sistema avaliado. Ainda em termos metodológicos, a ACV foi o método principal em 52% dos estudos analisados, seguida pelo uso de indicadores de pegadas ambientais (27%). Embora as pegadas facilitem a comunicação com gestores e consumidores, a adoção de forma isolada apresenta limitações, como o risco de transferência de impactos entre diferentes compartimentos ambientais.

Quanto à justiça distributiva, predomina o princípio igualitário *per capita* (EPC) (52%), embora avancem propostas baseadas no suficientismo. Ressalta-se que a adoção de parâmetros estritamente energéticos deve ser vinculada a critérios de densidade nutricional, uma vez que o suprimento calórico isolado não garante a adequação dietética.

A análise do estudo de caso 1 revelou que, no consumo domiciliar brasileiro, a transgressão dos limites ambientais é mais severa no uso de água doce do que nas mudanças climáticas. Os resultados da AESA indicaram que a carne bovina registrou os maiores índices de transgressão em todos os cenários de alocação, especialmente quanto ao recurso hídrico. Os alimentos como carne suína, frango e macarrão também excederam as cotas seguras, independentemente do princípio de partilha adotado no estudo de caso 1. Em contrapartida, o arroz e o ovo demonstraram maior aderência aos limites sustentáveis, com variações dependentes da métrica de compartilhamento (calórica ou nutricional). Esses achados reiteram a necessidade de padronizar as fronteiras do sistema no cenário brasileiro, especificamente para o escopo “do berço ao supermercado”, além de evidenciar a importância de ampliar a disponibilidade de dados, como o aumento do número de Declarações Ambientais de Produto (EPDs) para alimentos no Brasil.

Quanto à AESA da refeição servida no Restaurante Universitário (estudo de caso 2), dez processos foram identificados como os de maior impacto, abrangendo proteínas animais,

grãos e insumos operacionais, como eletricidade e embalagens. Sob as perspectivas energética e nutricional, as categorias de Mudanças Climáticas (CC) e Eutrofização de Água Doce (FEU) excederam o limiar de sustentabilidade (ASR entre 2,98 e 4,5). Por outro lado, o Uso de Água (WU), a Depleção da Camada de Ozônio (ODP) e a Eutrofização Marinha (MEU) mantiveram-se em níveis sustentáveis na maioria dos critérios, exceto quando aplicado o princípio igualitário *per capita*.

Por fim, a validação do FP-AESA com especialistas indicou que, embora a viabilidade de recursos seja um desafio (*crisp* 4,6), a etapa de revisão estratégica e aprendizado contínuo (fase do Agir) é percebida como fundamental para a eficácia da gestão de compras sustentáveis, alcançando altos níveis de concordância (*crisp* 7,8).

A incorporação da AESA às compras sustentáveis de alimentos pode ser iniciada pela categoria de mudanças climáticas, dada a natureza global do processo e a maior disponibilidade de dados. Contudo, a inclusão de outros limites planetários é essencial e requer a oferta de indicadores ambientais regionalizados, tais como o uso de nitrogênio e fósforo.

Uma convergência entre a AESA e as compras sustentáveis depende da evolução metodológica e da integração de diretrizes globais. Os avanços propostos pelo JRC 142099 para a aplicação metodológica em diversas escalas (Bjørn *et al.*, 2025), aliados à consolidação das fronteiras para sistemas alimentares recomendada pela Comissão EAT-Lancet 2.0 (Rockström *et al.*, 2025), estabelecem o embasamento técnico necessário para mitigar lacunas e viabilizar a AESA no âmbito das compras sustentáveis.

Esta tese constitui uma contribuição inédita ao estudo da sustentabilidade absoluta aplicada às compras de alimentos, apresentando o FP-AESA como uma forma complementar às avaliações de impacto relativas já existentes. A estrutura proposta permite uma introdução gradual da AESA nas organizações, podendo iniciar-se pela categoria de mudanças climáticas para, posteriormente, integrar outras PBs em conformidade com metas setoriais ou nacionais. O FP-AESA possui duas abordagens, a simplificada (*screening*) e a aprofundada (*in-depth*), justamente para cobrir os diferentes estágios de maturidade em que uma organização pode se apresentar quando da adoção da AESA como suporte às compras sustentáveis de alimentos.

6.1 IMPLICAÇÕES DA TESE

A tese contribuiu para o avanço científico ao explorar diferentes métodos de aplicação da AESA, fundamentados nas diretrizes do JRC 142099 (Bjørn *et al.*, 2025). A pesquisa detalhou procedimentos para a execução da avaliação mesmo em cenários de dados limitados,

discutindo criticamente as escolhas metodológicas e suas restrições. Além disso, as lacunas identificadas, especialmente a escassez de dados regionais, configuram oportunidades para futuras investigações voltadas à ampliação da análise de outros limites planetários para o contexto dos sistemas alimentares.

Para gestores e operadores de compras de alimentos, o estudo apresentou uma abordagem *top-down*, em conformidade com o ciclo PDCA e com aplicações práticas, para facilitar o entendimento da AESA e adoção do *framework* proposto. Ao demonstrar o uso de abordagens simplificada e aprofundada, o estudo exemplificou a viabilidade de avaliar alimentos e serviços sob a ótica da sustentabilidade absoluta, ressaltando a necessidade de considerar os *trade-offs* e as incertezas inerentes ao processo.

Para os formuladores de políticas (*policy makers*), a pesquisa enfatizou a importância de decisões baseadas em critérios mensuráveis frente aos limites planetários. A integração de métricas absolutas na agenda governamental foi apresentada como uma estratégia necessária para assegurar o acesso da população a uma alimentação saudável e sustentável, respeitando a capacidade de suporte dos ecossistemas.

REFERÊNCIAS

- AKAO, Y. **Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design**. Cambridge, MA: Productivity Press, 1990.
- ALEISSA, Y. M.; BAKSHI, B. R. Possible but rare: Safe and just satisfaction of national human needs in terms of ecosystem services. **One Earth**, v. 6, n. 4, p. 409–418, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.03.008>
- ARKSEY, H.; O'MALLEY, L. Scoping studies: towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 8, n. 1, p. 19–32, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 20400: Compras sustentáveis: diretrizes**. , 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14067: Gases de efeito estufa: pegada de carbono de produtos: requisitos e orientações para quantificação**. Rio de Janeiro, 2019.
- BARBANTI, A. M.; ANHOLON, R.; RAMPASSO, I. S.; MARTINS, V. W. B.; QUELHAS, O. L. G.; LEAL FILHO, W. Sustainable procurement practices in the supplier selection process: an exploratory study in the context of Brazilian manufacturing companies. **Corporate Governance: The International Journal of Business in Society**, v. 22, n. 1, p. 114–127, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/CG-10-2020-0481>
- BJØRN, A. *et al.* Review of life-cycle based methods for absolute environmental sustainability assessment and their applications. **Environmental Research Letters**, v. 15, n. 8, p. 083001, 2020 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab89d7>
- BJØRN, A.; HAUSCHILD, M. Z. Introducing carrying capacity-based normalisation in LCA: framework and development of references at midpoint level. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, n. 7, p. 1005–1018, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0899-2>
- BJØRN, A.; PAULILLO, A.; SANYÉ-MENGUAL, E.; DE LAURENTIIS, V.; VEA, E. B.; HAUSCHILD, M. Z.; SALA, S. **Guidance for applying absolute environmental sustainability assessment on activities at different scales (BETA version)**. LU: Publications Office, 2025. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.2760/7677803>. Acesso em: 8 fev. 2026.
- BJØRN, A.; SIM, S.; BOULAY, A.-M.; KING, H.; CLAVREUL, J.; LAM, W. Y.; BARBAROSSA, V.; BULLE, C.; MARGNI, M. A planetary boundary-based method for freshwater use in life cycle assessment: Development and application to a tomato production case study. **Ecological Indicators**, v. 110, p. 105865, 2020 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105865>
- BJØRN, A.; SIM, S.; KING, H.; MARGNI, M.; HENDERSON, A. D.; PAYEN, S.; BULLE, C. A comprehensive planetary boundary-based method for the nitrogen cycle in life cycle assessment: Development and application to a tomato production case study. **Science of The Total Environment**, v. 715, p. 136813, 2020 c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136813>

BRAMMER, S.; WALKER, H. Sustainable procurement in the public sector: an international comparative study. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 4, p. 452–476, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/01443571111119551>

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 11.947, de 16 de junho de 2009**, 2009. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/11947.htm. Acesso em: 12 jan. 2026.

BRASIL. **Lei nº 14.628, de 20 de julho de 2023**, 2023.

BRASIL. **Portal da Transparência do Governo Federal, Programas e Ações Orçamentárias**. , 2025. Disponível em: <https://portaldatransparencia.gov.br/programas-e-acoes/acao/00PI-apoio-ao-programa-nacional-de-alimentacao-escolar--pnae-?ano=2024>. Acesso em: 1 fev. 2025.

BRASIL. **Censo da Educação Superior 2024**. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep), 2025.

BRASIL; AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003**. Brasília, 2003. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=423918

BUI, T. D.; TSAI, F. M.; TSENG, M.-L.; ALI, M. H. Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 154, p. 104625, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625>

CAESAR, B.; SAKSCHEWSKI, B.; ANDERSEN, L. S.; BERINGER; BRAUN; DENNIS. **Planetary Health Check A Scientific Assessment of the State of the Planet**. Potsdam, Germany: Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), 2025. Disponível em: https://www.planetaryhealthcheck.org/wp-content/uploads/PHC_Report_2024_online_version.pdf.

CARRIJO, A.; BOTELHO, R.; AKUTSU, R.; ZANDONADI, R. Is What Low-Income Brazilians Are Eating in Popular Restaurants Contributing to Promote Their Health? **Nutrients**, v. 10, n. 4, p. 414, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu10040414>

CHANDRAKUMAR, C.; MCLAREN, S.; JAYAMAHA, N.; RAMILAN, T. Absolute Sustainability-Based Life Cycle Assessment (ASLCA): A Benchmarking Approach to Operate Agri-food Systems within the 2°C Global Carbon Budget. **JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY**, v. 23, n. 4, p. 906–917, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.12830>

CHENG, C.-H.; LIN, Y. Evaluating the best main battle tank using fuzzy decision theory with linguistic criteria evaluation. **European Journal of Operational Research**, v. 142, n. 1, p. 174–186, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00280-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00280-6)

CLARIVATE. Web of Science. Filadélfia, 2025.

CNI. **Cartilha ISO 20.400**. [S. l.]: Cni, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Mercado atacadista hortigranjeiro**. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/mercado-atacadista-hortigranjeiro.html>. Acesso em: 5 maio. 2025.

CRENNA, E.; SECCHI, M.; BENINI, L.; SALA, S. Global environmental impacts: data sources and methodological choices for calculating normalization factors for LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 10, p. 1851–1877, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01604-y>

DEMING, W. E. **Out of the Crisis, reissue**. [S. l.]: MIT press, 2018.

DIEESE. **Preço médio dos produtos da cesta básica: capitais**. , 2025. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/analisecestabasica/salarioMinimo.html>. Acesso em: 26 dez. 2025.

DOBSON, A. Environment sustainabilities: An analysis and a typology. **Environmental Politics**, v. 5, n. 3, p. 401–428, 1996. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09644019608414280>

DOKA, G. **Combining Life Cycle Inventory Results with Planetary Boundaries: The Planetary Boundary Allowance Impact Assessment Method PBA'05**: Doka Life Cycle Assessments. Zurich, Switzerland: [s. n.], 2015.

DOKA, G. **Combining Life Cycle Inventory Results with Planetary Boundaries: The Planetary Boundary Allowance Impact Assessment Method Update PBA'06**: Doka Life Cycle Assessments. Zurich, Switzerland: [s. n.], 2016.

DUTRA, D. A.; DEPRÁ, M. C.; DIAS, R. R.; KALU, L. Q.; JACOB-LOPES, E. Ensuring nutrition and food safety within planetary boundaries: The role of microalgae-based ingredients in sustainable food chain. **Journal of Applied Phycology**, v. 36, n. 5, p. 2635–2654, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03313-y>

DUUS-OTTERSTROM, G. Emissions Sufficiency. **British Journal of Political Science**, v. 54, n. 2, p. 281–294, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0007123423000625>

EUROPEAN COMMISSION. **What is Green Public Procurement?**. , 2008. Disponível em: https://green-forum.ec.europa.eu/green-business/green-public-procurement_en

EUROPEAN COMMISSION. **Farm to Fork Strategy**. , 2020. Disponível em: https://food.ec.europa.eu/document/download/472acca8-7f7b-4171-98b0-ed76720d68d3_en?filename=f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf. Acesso em: 14 fev. 2025.

EUROPEAN COMMISSION. **Commission Recommendation (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods**. Brussels, 2021.

EUROPEAN COMMISSION. **European Commission. Joint Research Centre (JRC)**. , 2025. Disponível em: https://commission.europa.eu/about/departments-and-executive-agencies/joint-research-centre_en. Acesso em: 21 jan. 2026.

EUROPEAN UNION. **Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism (Text with EEA relevance)**, 2023. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj>. Acesso em: 5 jan. 2026.

FENG, B. *et al.* Inputs for staple crop production in China drive burden shifting of water and carbon footprints transgressing part of provincial planetary boundaries. **WATER RESEARCH**, v. 221, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118803>

FREITAS, G. A. de; AKIM, E. K.; SILVA, D. V.; RAMOS, J. E. A. R. da; SILVA, D. A. L. Absolute Environmental Sustainability Assessment of Orange Production: A Case Study in Brazil. *In*: 2026, **Anais [...]**. [S. l.: s. n.]

GARZA-REYES, J. A.; TORRES ROMERO, J.; GOVINDAN, K.; CHERRAFI, A.; RAMANATHAN, U. A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM). **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 335–348, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.121>

GARZILLO, J. M. F. **A alimentação e seus impactos ambientais: abordagens dos guias alimentares nacionais..** 2019. - Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2019.

GARZILLO, J. M. F.; MACHADO, P. P.; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA; LOUZADA, M. L. D. C.; UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO; LEVY, R. B.; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. FACULDADE DE MEDICINA; MONTEIRO, C. A.; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. FACULDADE DE SAÚDE PÚBLICA. **Pegadas dos alimentos e das preparações culinárias consumidos no Brasil.** [S. l.]: Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/9788588848368>. Acesso em: 9 fev. 2026.

GHANI, H.; MAHMOOD, A.; FINKBEINER, M.; KALTSCHMITT, M.; GHEEWALA, S. Evaluating the absolute eco-efficiency of food products: A case study of rice in Pakistan. **ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT REVIEW**, v. 101, 2023 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107119>

GHANI, H.; RYBERG, M.; BJORN, A.; HAUSCHILD, M.; GHEEWALA, S. Resource efficiency analysis through planetary boundary-based life cycle assessment: a case study of sugarcane in Pakistan. **INTERNATIONAL JOURNAL OF LIFE CYCLE ASSESSMENT**, v. 28, n. 11, p. 1561–1576, 2023 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02185-7>

GOSS, M. A.; SHERWOOD, J. An absolute environmental sustainability assessment of food. **Food Frontiers**, v. 5, n. 3, p. 855–866, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fft2.371>

GREENDELTA. **OpenLCA.** BerlinGREENDELTA, , 2025. Disponível em: <https://www.openlca.org/>

GUERRIERI, V.; BORCHARDT, S.; LISTORTI, G.; MARELLI, L.; VITTUARI, M. Time to transform? Sustainability narratives for European food systems. **Global Food Security**, v. 44, p. 100831, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2025.100831>

GUINÉE, J. B.; DE KONING, A.; HEIJUNGS, R. Life cycle assessment-based Absolute Environmental Sustainability Assessment is also relative. **Journal of Industrial Ecology**, v. 26, n. 3, p. 673–682, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13260>

GUPTA, J.; LEBEL, L. Access and allocation in earth system governance: lessons learnt in the context of the Sustainable Development Goals. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, v. 20, n. 2, p. 393–410, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10784-020-09486-4>

HABIBI, A.; JAHANTIGH, F. F.; SARAFRAZI, A. Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. **Asian Journal of Research in Business Economics and Management**, v. 5, n. 2, p. 130, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5958/2249-7307.2015.00036.5>

HAFNER, F.; PFISTER, S.; GREEN, A.; CABERNARD, L. **Global Environmental Benefits of Plant-Based Diets: A Multi-Regional Input Output Analysis**. [S. l.]: Biodiversity, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.31223/X5XN23>. Acesso em: 10 fev. 2026.

HARRIS, K.; DIVAKARLA, S. Supply Chain Risk to Reward: Responsible Procurement and the Role of Ecolabels. **Procedia Engineering**, v. 180, p. 1603–1611, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.323>

HÄYHÄ, T.; LUCAS, P. L.; VAN VUUREN, D. P.; CORNELL, S. E.; HOFF, H. From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space — How can the scales be bridged? **Global Environmental Change**, v. 40, p. 60–72, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.008>

HEIDE, M.; HAUSCHILD, M.; RYBERG, M. Reflecting the importance of human needs fulfilment in absolute sustainability assessments: Development of a sharing principle. **JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY**, v. 27, n. 4, p. 1151–1164, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13405>

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design Science in Information Systems Research1. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75–106, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/25148625>

HJALSTED, A. W.; LAURENT, A.; ANDERSEN, M. M.; OLSEN, K. H.; RYBERG, M.; HAUSCHILD, M. Sharing the safe operating space: Exploring ethical allocation principles to operationalize the planetary boundaries and assess absolute sustainability at individual and industrial sector levels. **Journal of Industrial Ecology**, v. 25, n. 1, p. 6–19, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13050>

HONKONEN, T. The Principle of Common But Differentiated Responsibility in Post-2012 Climate Negotiations. **Review of European Community & International Environmental Law**, v. 18, n. 3, p. 257–267, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9388.2009.00648.x>

HUANG, J.; RIDOUTT, B.; SUN, Z.; LAN, K.; THORP, K.; WANG, X.; YIN, X.; HUANG, J.; CHEN, F.; SCHERER, L. Balancing food production within the planetary water boundary. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 253, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119900>

IBGE. Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: primeiros resultados. , 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101670.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2025.

IEA. **Análise e Indicadores do Agronegócio**. Estado de São Paulo, , 2018. Disponível em: <https://iea.agricultura.sp.gov.br/ftp/iea/aia/AIA-33-2018.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2025.

ISHIKAWA, A.; AMAGASA, M.; SHIGA, T.; TOMIZAWA, G.; TATSUTA, R.; MIENO, H. The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 55, n. 3, p. 241–253, 1993. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90251-C](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90251-C)

ISO. **ISO 14040: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework**. GenevaISO, , 2006 a.

ISO. **ISO 14044: Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines**. GenevaISO, , 2006 b.

KARLSSON POTTER, H.; RÖÖS, E. Multi-criteria evaluation of plant-based foods –use of environmental footprint and LCA data for consumer guidance. **Journal of Cleaner Production**, v. 280, p. 124721, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124721>

KATES, R. W. *et al.* Sustainability Science. **Science**, v. 292, n. 5517, p. 641–642, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1059386>

KIM, Y.; DYKEMA, J.; STEVENSON, J.; BLACK, P.; MOBERG, D. P. Straightlining: Overview of Measurement, Comparison of Indicators, and Effects in Mail–Web Mixed-Mode Surveys. **Social Science Computer Review**, v. 37, n. 2, p. 214–233, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0894439317752406>

KIRWAN, L.; WALTON, J.; FLYNN, A.; NUGENT, A.; KEARNEY, J.; HOLDEN, N.; MCNULTY, B. Assessment of the Environmental Impact of Food Consumption in Ireland- Informing a Transition to Sustainable Diets. **NUTRIENTS**, v. 15, n. 4, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/nu15040981>

KRISTENSEN, H. S.; MOSGAARD, M. A.; REMMEN, A. Circular public procurement practices in Danish municipalities. **Journal of Cleaner Production**, v. 281, p. 124962, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124962>

KUROTANI; SHINSUGI. **Promotion of Lessons learned from Japanese context Shokuiku (Food and nutrition education)**. , 2019. Disponível em: https://www.nibn.go.jp/eiken/programs/shokuiku_report.pdf. Acesso em: 21 fev. 2025.

KYTTÄ, V.; GHANI, H.; PELLINEN, T.; KÅRLUND, A.; KOLEHMAINEN, M.; PAJARI, A.; TUOMISTO, H.; SAARINEN, M. Integrating nutrition into environmental impact assessments reveals limited sustainable food options within planetary boundaries. **SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION**, v. 56, p. 142–155, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.03.018>

LACERDA, B.; CARVALHO, A.; MARTINS, J.; NEGRÃO, C.; SELEM, S.; FISBERG, R.; MARCHIONI, D. Segunda Sem Carne na Faculdade de Saúde Pública: um Projeto de

Intervenção. **Revista de Cultura e Extensão USP**, v. 10, n. 0, p. 113, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9060.v10i0p113-119>

LASTA, P. **PRODUTOS COMERCIAIS À BASE DE MICROALGAS APLICADOS ÀS FRONTEIRAS PLANETÁRIAS**. Santa Maria (RS)Universidade Federal de Santa Maria, , 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/25025/DIS_PPGCTA_2022_LASTA_PAOLA.pdf?sequence=1&isAllowed=yDissertação

LENTON, T. M.; HELD, H.; KRIEGLER, E.; HALL, J. W.; LUCHT, W.; RAHMSTORF, S.; SCHELLNHUBER, H. J. Tipping elements in the Earth's climate system. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 6, p. 1786–1793, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0705414105>

LEVAC, D.; COLQUHOUN, H.; O'BRIEN, K. K. Scoping studies: advancing the methodology. **Implementation Science**, v. 5, n. 1, p. 69, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1748-5908-5-69>

LI, L. *et al.* Enhanced nitrous oxide emission factors due to climate change increase the mitigation challenge in the agricultural sector. **Global Change Biology**, v. 30, n. 8, p. e17472, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.17472>

LIMA, P.; FERRER, G.; KJERSTADIUS, H.; RYBERG, M.; MCCONVILLE, J. Evaluating source separation wastewater systems using traditional life cycle assessment and the planetary boundaries approach. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 422, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138632>

LOMBARDI, G. V.; PARRINI, S.; ATZORI, R.; STEFANI, G.; ROMANO, D.; GASTALDI, M.; LIU, G. Sustainable agriculture, food security and diet diversity. The case study of Tuscany, Italy. **Ecological Modelling**, v. 458, p. 109702, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109702>

LOVELOCK, J. E.; MARGULIS, L. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 26, n. 1–2, p. 2, 1974. Disponível em: <https://doi.org/10.3402/tellusa.v26i1-2.9731>

LUCAS, E.; GUO, M.; GUILLÉN-GOSÁLBEZ, G. Optimising diets to reach absolute planetary environmental sustainability through consumers. **SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION**, v. 28, p. 877–892, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.07.003>

MAHMOOD, A.; GHANI, H. U.; GHEEWALA, S. H. Absolute environmental sustainability assessment of rice in Pakistan using a planetary boundary-based approach. **Sustainable Production and Consumption**, v. 39, p. 123–133, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.05.016>

MAPBIOMAS. **RAD2024: Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2024**. São Paulo, Brasil: MapBiomass, 2025. Disponível em: https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2025/11/RAD2024_28_10.pdf. Acesso em: 8 fev. 2026.

MCDERMID, S. *et al.* Irrigation in the Earth system. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 4, n. 7, p. 435–453, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00438-5>

MEADOWS, D. H.; CLUB OF ROME (org.). **The Limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind**. New York: Universe Books, 1972.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, n. 5, p. 1577–1600, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

MOBERG, E.; POTTER, H.; WOOD, A.; HANSSON, P.; RÖÖS, E. Benchmarking the Swedish Diet Relative to Global and National Environmental Targets-Identification of Indicator Limitations and Data Gaps. **SUSTAINABILITY**, v. 12, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12041407>

NUGROHO SUKARDI, S.; ABDUH, M. Indonesian contractors' practices towards sustainable procurement principles for green building projects. **MATEC Web of Conferences**, v. 270, p. 05009, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201927005009>

NUSS, P.; SANYE-MENGUAL, E.; SALA, S. Monitoring the consumption footprint of countries to support policy-making: An assessment of data availability in Germany. **JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY**, v. 27, n. 5, p. 1354–1369, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13412>

OECD. **A Stocktaking of Food Loss and Waste Policies: France.** , 2025. Disponível em: <https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/topics/policy-issue-focus/food-loss-and-waste/A%20Stocktaking%20of%20FLW-France.pdf>

ONU; DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS. **Divisão de População. Data Portal: custom data acquired via website**. New York: United Nations, 2025. Disponível em: <https://population.un.org/DataPortal/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

PASUTTO, E.; DAHLIN, J.; SUKUMARA, S.; MERAMO, S. Replacing conventional meat with mycoprotein: relative and absolute environmental perspectives. **SUSTAINABLE PRODUCTION AND CONSUMPTION**, v. 56, p. 531–545, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.04.019>

PATEL, K.; FENG, H.; RUPARATHNA, R. Rethinking Sustainable Procurement: Investigating the Impact of System Boundary on Building Proposal Selection. **Sustainability**, v. 17, n. 4, p. 1408, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su17041408>

PAULILLO, A.; WIERZGALA, P.; BIGANZOLI, F.; SANYÉ-MENGUAL, E. Investigating methodological aspects of absolute environmental sustainability assessment based on planetary boundaries. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 117, p. 108154, 2026. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2025.108154>

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>

PROCON-SP. **Cesta básica ampliada: relatório anual 2018**. Estado de São Paulo, , 2025.

RAINVILLE, A. Standards in green public procurement – A framework to enhance innovation. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1029–1037, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.088>

RAY, D. K.; SLOAT, L. L.; GARCIA, A. S.; DAVIS, K. F.; ALI, T.; XIE, W. Crop harvests for direct food use insufficient to meet the UN's food security goal. **Nature Food**, v. 3, n. 5, p. 367–374, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00504-z>

RICHARDSON, K. *et al.* Earth beyond six of nine planetary boundaries. **Science Advances**, v. 9, n. 37, p. eadh2458, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458>

ROCKSTRÖM, J. *et al.* A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, n. 7263, p. 472–475, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/461472a>

ROCKSTRÖM, J. *et al.* The EAT-Lancet Commission on healthy, sustainable, and just food systems. **LANCET**, v. 406, n. 10512, p. 1625–1700, 2025. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(25\)01201-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(25)01201-2)

RÖÖS, E.; JACOBSEN, M.; KARLSSON, L.; WANECEK, W.; SPÅNGBERG, J.; MAZAC, R.; RYDHMER, L. Introducing a comprehensive and configurable tool for calculating environmental and social footprints for use in dietary assessments. **Journal of Cleaner Production**, v. 519, p. 146002, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.146002>

RYBERG, M. W.; ANDERSEN, M. M.; OWSIANIAK, M.; HAUSCHILD, M. Z. Downscaling the planetary boundaries in absolute environmental sustainability assessments – A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 123287, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123287>

RYBERG, M. W.; BJERRE, T. K.; NIELSEN, P. H.; HAUSCHILD, M. Absolute environmental sustainability assessment of a Danish utility company relative to the Planetary Boundaries. **Journal of Industrial Ecology**, v. 25, n. 3, p. 765–777, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jiec.13075>

RYBERG, M. W.; OWSIANIAK, M.; CLAVREUL, J.; MUELLER, C.; SIM, S.; KING, H.; HAUSCHILD, M. Z. How to bring absolute sustainability into decision-making: An industry case study using a Planetary Boundary-based methodology. **Science of The Total Environment**, v. 634, p. 1406–1416, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.075>

RYBERG, M. W.; OWSIANIAK, M.; RICHARDSON, K.; HAUSCHILD, M. Z. Challenges in implementing a Planetary Boundaries based Life-Cycle Impact Assessment methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 450–459, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.074>

SAKSCHESKI, B. *et al.* **Planetary Health Check 2025: A Scientific Assessment of the State of the Planet** (N. H. Kitzmann, L. Caesar, B. Sakschewski, J. Rockström, Org.) **Planetary Boundaries Science (PBScience)**. [S. l.]: Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.48485/PIK.2025.017>. Acesso em: 8 fev. 2026.

SALA, S.; CRENNNA, E.; SECCH, M.; PANT, R. **Global normalisation factors for the environmental footprint and Life Cycle Assessment**. LU: Publications Office, 2017. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.2760/88930>. Acesso em: 9 fev. 2026.

SALA, S.; CRENNNA, E.; SECCHI, M.; SANYÉ-MENGUAL, E. Environmental sustainability of European production and consumption assessed against planetary boundaries. **Journal of Environmental Management**, v. 269, p. 110686, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110686>

SCHULTE-UEBBING, L. F.; BEUSEN, A. H. W.; BOUWMAN, A. F.; DE VRIES, W. From planetary to regional boundaries for agricultural nitrogen pollution. **Nature**, v. 610, n. 7932, p. 507–512, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05158-2>

SILLMAN, J.; UUSITALO, V.; TAPANEN, T.; SALONEN, A.; SOUKKA, R.; KAHILUOTO, H. Contribution of honeybees towards the net environmental benefits of food. **SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT**, v. 756, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143880>

SPRINGMANN, M. *et al.* Options for keeping the food system within environmental limits. **Nature**, v. 562, n. 7728, p. 519–525, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>

STEFANO, N. M.; CASAROTO FILHO, N.; FREITAS, M. C. D. Proposta de um instrumento de pesquisa para avaliar a gestão de periódicos científicos: utilizando o método fuzzy Delphi. **Iberoamerican Journal of Project Management (IJoPM)**, v. 5, p. 30, 2014.

STEFFEN, W. *et al.* Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 1259855, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1259855>

STEFFEN, W.; CRUTZEN, P. J.; MCNEILL, J. R. The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 36, n. 8, p. 614–621, 2007. Disponível em: [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36%5B614:TAAHNO%5D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36%5B614:TAAHNO%5D2.0.CO;2)

ŚWIĄDER, M.; SZEWRĄŃSKI, S.; KAZAK, J. K. Environmental Carrying Capacity Assessment—the Policy Instrument and Tool for Sustainable Spatial Management. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, p. 579838, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579838>

SWINBURN, B. A. *et al.* The Global Syndemic of Obesity, Undernutrition, and Climate Change: The Lancet Commission report. **The Lancet**, v. 393, n. 10173, p. 791–846, 2019. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32822-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32822-8)

SWINNEN, J. **Global food policy report 2024: Food systems for healthy diets and nutrition**. [S. l.]: IFPRI, 2024. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10568/141760>.

TBCA. Tabela Brasileira de Composição de Alimentos. São Paulo: USP, 2025. Disponível em: https://www.tbca.net.br/base-dados/composicao_alimentos.php. Acesso em: 23 dez. 2025.

The State of Food Security and Nutrition in the World 2024. [S. l.]: FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO, 2024. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cd1254en>. Acesso em: 7 fev. 2026.

TRICCO, A. C. *et al.* PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. **Annals of Internal Medicine**, v. 169, n. 7, p. 467–473, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.7326/M18-0850>

UFSCAR. **AValiação dos 10 anos do Programa de Ações Afirmativas e do Ingresso por Reserva de Vagas (2007-2017).** [S. l.]: Universidade Federal de São Carlos, 2021. Disponível em: <http://soc.ufscar.br/consuni/2021/arquivos/consuni-248a-reuniao-ordinaria/relatorio-10-anos-a-afirmativas.pdf>.

UNEP. **2020/2021 Data collection for SDG Indicator 12.7.1 Main results and conclusions from the first reporting exercise.** [S. l.]: UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP), 2022. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/xmlui/bitstream/handle/20.500.11822/37967/SDG.pdf>. Acesso em: 2 mar. 2023.

UNEP. **SDG - 12.7 target and indicator on Sustainable Public Procurement implementation.** , 2025. Disponível em: <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/sustainable-public-procurement/sdg-127-target-and>. Acesso em: 22 jan. 2025.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Environment Outlook 7: A future we choose – Why investing in Earth now can lead to a trillion-dollar benefit for all.** 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/49014>

UUSITALO, V.; PANAPANAAN, V.; VALLAS, P.; KUOKKANEN, A.; KOISTINEN, K. Environmental impacts and sustainability of low-value roach fish when used as food. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 693–701, 2018 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.047>

UUSITALO, V.; PANAPANAAN, V.; VALLAS, P.; KUOKKANEN, A.; KOISTINEN, K. Environmental impacts and sustainability of low-value roach fish when used as food. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 204, p. 693–701, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.047>

VAN VUUREN, D. P. *et al.* Exploring pathways for world development within planetary boundaries. **Nature**, v. 641, n. 8064, p. 910–916, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08928-w>

VENABLE, J.; PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R. FEDS: a Framework for Evaluation in Design Science Research. **European Journal of Information Systems**, v. 25, n. 1, p. 77–89, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/ejis.2014.36>

WESTENG, O. T. *et al.* Three reasons why food system transformations are contested, and why food system scientists and policymakers should care. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 9, p. 1570961, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1570961>

WILLETT, W. *et al.* Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. **The Lancet**, v. 393, n. 10170, p. 447–492, 2019. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

WITJES, S.; LOZANO, R. Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 112, p. 37–44, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.04.015>

WOLFF, A.; GONDRAN, N.; BRODHAG, C. Detecting unsustainable pressures exerted on biodiversity by a company. Application to the food portfolio of a retailer. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 166, p. 784–797, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.057>

WORLD BANK. **Final consumption expenditure (current US\$)**, 2025. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?locations=BR>. Acesso em: 20 dez. 2025.

ZHANG, Q.; WIEDMANN, T.; FANG, K.; SONG, J.; HE, J.; CHEN, X. Bridging planetary boundaries and spatial heterogeneity in a hybrid approach: A focus on Chinese provinces and industries. **Science of The Total Environment**, v. 804, p. 150179, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150179>

ZHANG, Y.; WANG, Z.; LI, S. Can a new power system help maintain planetary boundaries within a safe operating space? **Energy**, v. 304, p. 132030, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132030>

Zotero. . Corporation for Digital Scholarship, , 2025. Disponível em: <https://www.zotero.org/ZOTERO>

APÊNDICES

APÊNDICE A – AVALIAÇÃO DO FRAMEWORK FP-AESA

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

Olá! Estamos te convidando para participar de um estudo Fuzzy Delphi para a pesquisa "Desenvolvimento de framework para integrar a Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta em compras sustentáveis de serviços de alimentação".

O estudo utilizará o método **Fuzzy Delphi** e faz parte da pesquisa de doutorado de Erica Kushiara Akim, sob a supervisão do Prof. Dr. Diogo Lopes Silva, ambos da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Sua privacidade é nossa prioridade. Por isso, garantimos que:

- O acesso às suas respostas será restrito apenas à equipe da pesquisa.
- Os dados serão utilizados exclusivamente para fins acadêmicos.
- A publicação dos resultados será feita de forma agregada e totalmente anônima, protegendo completamente sua identidade.

Para participar, basta prosseguir. Na próxima seção, você encontrará todos os detalhes e as instruções necessárias.

Se tiver qualquer dúvida, sinta-se à vontade para me contatar diretamente pelo e-mail: **ericakim@ufscar.br**

* Indica uma pergunta obrigatória

1. E-mail *

2. *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Aceito participar da pesquisa
- ☐ Não aceito participar da pesquisa

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(Resolução 510/2016 do CNS)

Pesquisa aprovada pelo [Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar](#) (CAAE 78833124.5.0000.5504)

Prezado(a) senhor(a),

Esta pesquisa é sobre a sustentabilidade ambiental absoluta no restaurante universitário e está sendo desenvolvida pela [Me. Erica Kushihara Akim](#), doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis (PPGPUR), vinculado ao Centro de Ciências e Tecnologia para a Sustentabilidade (CCTS), da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, sob a orientação do [Prof. Dr. Diogo Aparecido Lopes Silva](#).

O objetivo principal do estudo é comparar a sustentabilidade absoluta a partir dos impactos ambientais obtidos com aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) na refeição servida no RU, considerando o cardápio servido em um dia letivo. A partir dos resultados da ACV e da comparação da sustentabilidade ambiental absoluta, que considera os impactos ambientais e o Espaço Operacional Seguro (SOS), a pesquisa visa desenvolver framework sobre a integração dos limites planetários à contratação sustentável de serviços de alimentação.

Por essa razão, o(a) senhor(a) está sendo convidado(a) a participar da pesquisa. Sua participação consistirá em:

1. Participar de um painel de especialistas on-line estruturado.
2. Listar e classificar atributos e critérios que segundo a sua experiência e conhecimentos são essenciais para incorporar os limites planetários à contratação pública sustentável de serviços de alimentação.
3. Responder a no mínimo 2 e no máximo 4 questionários na plataforma de pesquisa da web. A resposta a cada questionário dura cerca de 10 minutos.
4. O(a) Sr.(a) será contactado (a) através do email que disponibilizar no cadastro.
5. Os questionários serão abertos no ambiente virtual específico a cada 15 dias, em média, durante o período máximo de 3 meses.
6. As perguntas não serão invasivas à sua intimidade, entretanto, esclareço que a participação na pesquisa pode gerar constrangimento, cansaço ou desconforto como resultado da exposição dos hábitos profissionais nas respostas.
7. Diante dessas situações, você terá a liberdade de não responder as perguntas quando

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

a considerar constrangedora, podendo interromper o preenchimento a qualquer momento. Em caso de encerramento do preenchimento das respostas por qualquer fator descrito acima, a pesquisadora ficará à disposição para tranquilizá-lo(a) e levá-lo(a) ao serviço de assistência da Universidade ou da cidade, caso seja necessário.

8. Sua participação nessa pesquisa auxiliará na obtenção de dados que poderão ser utilizados para fins científicos, onde os resultados deste estudo poderão ser publicados em revistas científicas nacionais e/ou internacionais, o que poderá proporcionar maiores informações e discussões sobre avaliação da sustentabilidade ambiental em termos absolutos sobre as refeições servidas no RU. A pesquisadora realizará o acompanhamento de todos os procedimentos e atividades desenvolvidas durante a pesquisa.

9. Sua participação é voluntária e não haverá compensação em dinheiro pela sua participação. A qualquer momento você pode desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa ou desistência não lhe trará nenhum prejuízo, seja em relação aos pesquisadores ou à Universidade Federal de São Carlos. Em caso de encerramento do preenchimento das respostas por qualquer fator descrito acima, a pesquisadora ficará à disposição para tranquilizá-lo(a), caso seja necessário.

10. A pesquisadora estará à sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

11. Todas as informações obtidas por meio da pesquisa serão confidenciais, sendo assegurado o sigilo sobre sua participação em todas as etapas do estudo. A pesquisadora estará à sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

12. Todas as informações que o(a) Sr.(a) nos fornecer serão utilizadas somente para esta pesquisa. Os dados pessoais que fornecerá serão utilizados somente para a construção dos painéis de especialistas. Sua identidade será codificada e somente a pesquisadora terá acesso a esta chave de identificação

13. Suas respostas e dados pessoais serão guardados na confidencialidade, seu nome não aparecerá durante a pesquisa, nem quando os resultados forem apresentados, e seus dados de contato não serão repassados a outrem.

14. Os participantes não terão nenhuma despesa (custos diretos e indiretos) ao participar da pesquisa e poderão retirar sua concordância na continuidade da pesquisa a qualquer momento e sem nenhum prejuízo.

15. Não há nenhum valor econômico a receber ou pagar aos voluntários pela participação, no entanto, caso haja algum dano comprovadamente decorrente da participação no estudo, os voluntários poderão pleitear indenização, segundo as determinações do Código Civil (Lei 10.406 de 2002) e das Resoluções 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde.

16. O nome dos participantes será mantido em sigilo, assegurando assim a sua privacidade, e se desejarem terão livre acesso a todas as informações e livre acesso aos

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

resultados da pesquisa e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências, enfim, tudo o que queiram saber antes e depois da sua participação.

17. Considerando, que fui informado dos objetivos e da relevância do estudo proposto, de como será minha participação, dos procedimentos e riscos decorrentes deste estudo, declaro o meu consentimento em participar da pesquisa, como também concordo que os dados obtidos na investigação sejam utilizados para fins científicos (divulgação em eventos e publicações).

Estou ciente que receberei uma via desse documento.

O pesquisador me informou que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar que funciona na Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, localizada na Rodovia Washington Luiz, Km. 235 - Caixa Postal 676 - CEP 13.565-905 - São Carlos - SP – Brasil. Fone (16) 3351-9685. Endereço eletrônico: cephumanos@ufscar.br

Caso necessite de mais informações sobre o presente estudo, favor entrar em contato com a pesquisadora **Erica Kushiara Akim**

Email: ericakim@ufscar.br

Telefone: (15) 3229-7484

Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba.

Endereço: Rodovia João Leme dos Santos, km 110. Bairro: Reserva Fazenda Imperial.

Sorocaba - SP. CEP: 18052-780.

3. *

Marcar apenas uma oval.

☐ Li e compreendi o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e concordo em participar voluntariamente desta pesquisa

☐ Não concordo em participar da pesquisa

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

Sobre o Questionário

Agradecemos a sua participação nesta pesquisa.

O objetivo do questionário é avaliar o framework FP-AESA (Food Procurement with a focus on absolute environmental sustainability assessment), que visa integrar a Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (AESA) ao processo de compras de alimentos e serviços de alimentação.

A primeira rodada do questionário estará disponível de **13 a 30 de outubro** de 2025.

A estrutura da survey é a seguinte:

1. Breve apresentação do conceito de AESA o do framework proposto.
2. Coleta de informações sobre o especialista.
3. Avaliação da relevância e estrutura do framework.
4. Avaliação do conteúdo do framework.

Sobre o framework

O framework (Figura 1) para Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (AESA) tem como objetivo introduzir a Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (AESA) ao processo de compras de alimentos e serviços de alimentação (exemplos: Restaurantes, alimentação escolar, restaurante universitário, etc.).

Baseado na norma ISO 20400, o framework proposto é formado por quatro diretrizes e oito ações-chave.

Em resumo, a AESA quantifica o impacto ambiental de uma atividade, compara esse impacto com uma 'cota' baseada nas capacidades de suporte do planeta e, por fim, determina se a atividade é absolutamente sustentável. Essas cotas são definidas a partir de referências científicas reconhecidas, como o framework das Fronteiras Planetárias (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015; Richardson et al., 2023), o orçamento de carbono remanescente alinhado às metas climáticas (IPCC) e as metas específicas para sistemas alimentares do [Relatório EAT-Lancet](#).

*Nota: O termo **Absolute environmental sustainability assessment (AESA)** refere-se a uma avaliação que mede a sustentabilidade ambiental absoluta de uma atividade humana, comparando sua carga ambiental estimada com sua capacidade de suporte alocada. Essa avaliação adota uma perspectiva de ciclo de vida e, idealmente, cobre todas as categorias de impacto ([European Commission et al., 2025](#)).*

Referências:

European Commission: Joint Research Centre, Bjørn, A., Paulillo, A., Sanyé Mengual, E., De Laurentiis, V., Veà, E., Hauschild, M.Z. and Sala, S., **Guidance for applying absolute environmental sustainability assessment on activities at different scales (BETA version)**, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/7677803>, JRC142099.

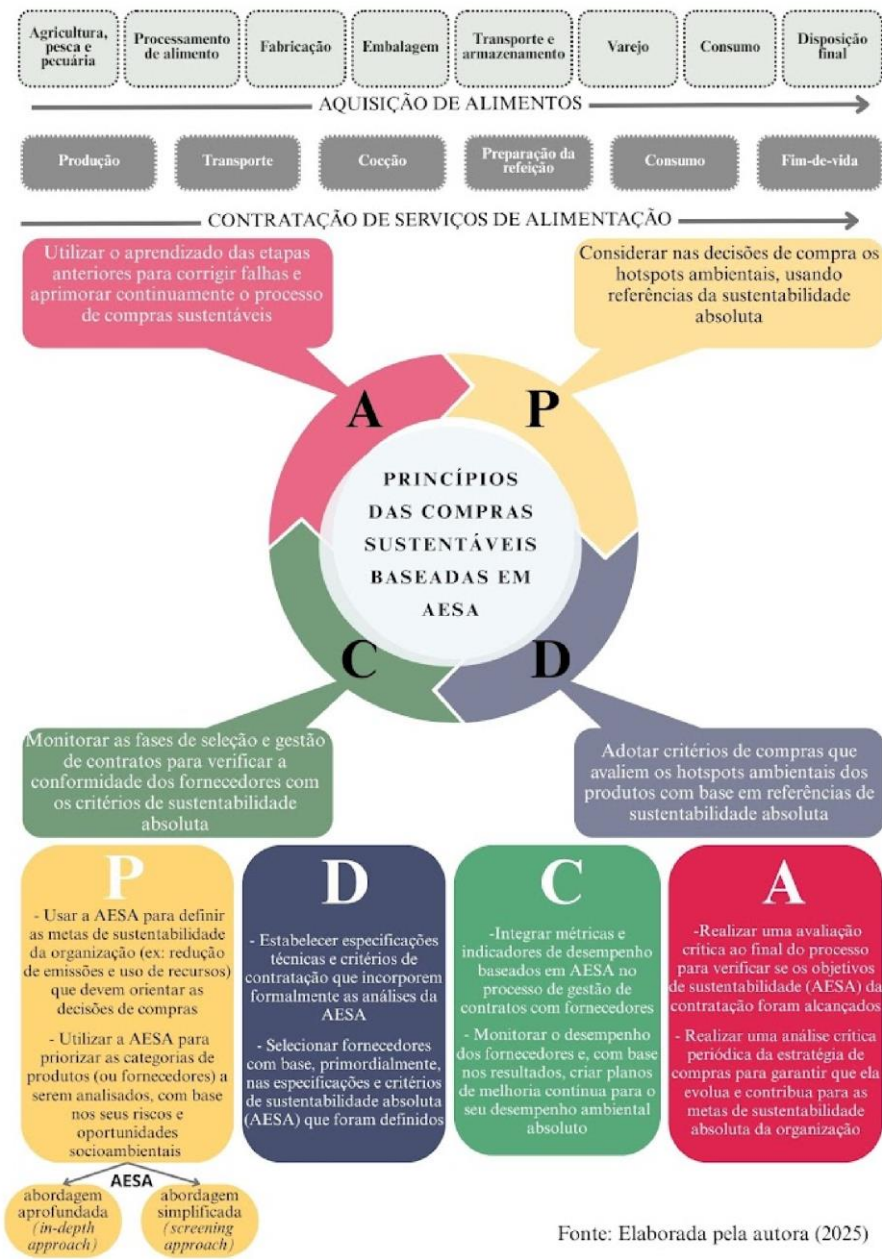
Comissão EAT-Lancet. **Dietas saudáveis a partir de sistemas alimentares sustentáveis**: um resumo da Comissão EAT-Lancet sobre Alimentos, Planeta, Saúde. [Estocolmo]: EAT; [Londres]: The Lancet, 2019. Disponível em: https://eatforum.org/content/uploads/2019/07/EAT-Lancet_Commission_Summary_Report_Portuguese.pdf

RICHARDSON, K. et al. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, v. 9, n. 37, 15 set. 2023.

ROCKSTRÖM, J. et al. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://about.jstor.org/terms>>.

STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, v. 347, n. 6223, 13 fev. 2015.

Figura 1 – Framework - Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta para aquisição de alimentos e contratação de serviços de alimentação.



03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

Sobre o respondente

Sua perspectiva como especialista em ACV e/ou em compras organizacionais é a base deste estudo Fuzzy Delphi. Para contextualizarmos adequadamente suas valiosas contribuições, por favor, responda as questões abaixo sobre sua área de atuação e a sua experiência no tema.

4. 1. Em qual **país** sua organização está localizada? *

5. 2. Em que **tipo** de organização você atua? *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Universidade
- ☐ Indústria
- ☐ Associação industrial ou rede de negócios
- ☐ Consultoria
- ☐ Administração Pública
- ☐ Organizações não governamentais (ONG) (sociedade civil)
- ☐ Órgão normatizador
- ☐ Pessoa física
- ☐ Outro:

6. 3. Qual o seu **cargo** ou **função** na organização? *

7. 4. Qual o seu nível de **experiência em avaliação ambiental da sustentabilidade** (exemplo: ACV)? *

Marcar apenas uma oval.

0 1 2 3 4

Nen ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Especialista (expert)

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

8. 5. Qual o seu nível de **experiência** em processos de compras em organizações públicas ou privadas? *

Marcar apenas uma oval.

	0	1	2	3	4	
Nen	☐	☐	☐	☐	☐	Especialista (expert)

Sobre a relevância e estrutura do framework

Para as próximas questões por favor, indique a importância que você atribui em uma escala de 0 a 10. Forneça não apenas sua estimativa mais provável, mas também o intervalo de valores (mínimo e máximo) que você considera plausível para essa avaliação.

- **Avaliação mínima (Pessimista):** O menor valor que você considera plausível.
- **Avaliação mais provável:** Sua estimativa principal, a mais direta.
- **Avaliação máxima (Otimista):** O maior valor que você considera plausível.

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

9. 6. Em uma escala de 0 a 10, qual a importância das compras sustentáveis no setor de alimentos para você? *

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

10. 7. Em uma escala de 0 a 10, qual a relevância das diretrizes do framework FP-AESA (segunda coluna do Quadro 1) para as organizações do setor de alimentos?

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

Quadro 1 – Diretrizes e ações-chave do FP-AESA

Fase	Diretriz	ID	Ação-Chave
P	Considerar nas decisões de compra os hotspots ambientais, usando referências da sustentabilidade absoluta.	P1	Usar a AESA para definir as metas de sustentabilidade da organização (ex: redução de emissões e uso de recursos) que devem orientar as decisões de compras.
		P2	Utilizar a AESA para priorizar as categorias de produtos (ou fornecedores) a serem analisados, com base nos seus riscos e oportunidades socioambientais.
D	Adotar critérios de compras que avaliem os hotspots ambientais dos produtos com base em referências de sustentabilidade absoluta.	D1	Estabelecer especificações técnicas e critérios de contratação que incorporem formalmente as análises da AESA.
		D2	Selecionar fornecedores com base, primordialmente, nas especificações e critérios de sustentabilidade absoluta (AESA) que foram definidos.
C	Monitorar as fases de seleção e gestão de contratos para verificar a conformidade dos fornecedores com os critérios de sustentabilidade absoluta (AESA).	C1	Integrar métricas e indicadores de desempenho baseados em AESA no processo de gestão de contratos com fornecedores.
		C2	Monitorar o desempenho dos fornecedores e, com base nos resultados, criar planos de melhoria contínua para o seu desempenho ambiental absoluto.
A	Utilizar o aprendizado das etapas anteriores para corrigir falhas e aprimorar continuamente o processo de compras sustentáveis.	A1	Realizar uma avaliação crítica ao final do processo para verificar se os objetivos de sustentabilidade (AESA) da contratação foram alcançados.
		A2	Realizar uma análise crítica periódica da estratégia de compras para garantir que ela evolua e contribua para as metas de sustentabilidade absoluta da organização.

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

11. 8. Em uma escala de 0 a 10, qual o nível de alinhamento entre as diretrizes e as ações propostas no framework FP-AESA (Colunas 2 e 4 do Quadro 1)?

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

12. 9. Avaliando o framework, indique seu nível de concordância com a afirmação:

'A implementação deste framework é viável para a maioria das organizações do setor, considerando os recursos e conhecimentos disponíveis atualmente'

Sendo 0 = discordo totalmente, e 10 = concordo totalmente

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

13. 10. Por favor, indique seu nível de concordância com a seguinte afirmação:

'O framework apresentado aborda de forma abrangente os aspectos essenciais para a realização de compras sustentáveis no setor de alimentos'.

Sendo 0 = discordo totalmente, e 10 = concordo totalmente

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

14. 11. Pensando no público-alvo do framework (ex: gestores de compras, gestores públicos, analistas de sustentabilidade), por favor, indique seu nível de concordância com a seguinte afirmação:

"A linguagem e a estrutura do framework são claras e de fácil compreensão."

Sendo 0 = discordo totalmente, e 10 = concordo totalmente

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Sobre as diretrizes e ações-chave

Para as próximas questões por favor, indique a importância que você atribui em uma escala de 0 a 10. Forneça não apenas sua estimativa mais provável, mas também o intervalo de valores (mínimo e máximo) que você considera plausível para essa avaliação.

- **Avaliação mínima (Pessimista):** O menor valor que você considera plausível.
- **Avaliação mais provável:** Sua estimativa principal, a mais direta.
- **Avaliação máxima (Otimista):** O maior valor que você considera plausível.

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

Quadro 1 – Diretrizes e ações-chave do FP-AESA

Fase	Diretriz	ID	Ação-Chave
P	Considerar nas decisões de compra os hotspots ambientais, usando referências da sustentabilidade absoluta.	P1	Usar a AESA para definir as metas de sustentabilidade da organização (ex: redução de emissões e uso de recursos) que devem orientar as decisões de compras.
		P2	Utilizar a AESA para priorizar as categorias de produtos (ou fornecedores) a serem analisados, com base nos seus riscos e oportunidades socioambientais.
D	Adotar critérios de compras que avaliem os hotspots ambientais dos produtos com base em referências de sustentabilidade absoluta.	D1	Estabelecer especificações técnicas e critérios de contratação que incorporem formalmente as análises da AESA.
		D2	Selecionar fornecedores com base, primordialmente, nas especificações e critérios de sustentabilidade absoluta (AESA) que foram definidos.
C	Monitorar as fases de seleção e gestão de contratos para verificar a conformidade dos fornecedores com os critérios de sustentabilidade absoluta (AESA).	C1	Integrar métricas e indicadores de desempenho baseados em AESA no processo de gestão de contratos com fornecedores.
		C2	Monitorar o desempenho dos fornecedores e, com base nos resultados, criar planos de melhoria contínua para o seu desempenho ambiental absoluto.
A	Utilizar o aprendizado das etapas anteriores para corrigir falhas e aprimorar continuamente o processo de compras sustentáveis.	A1	Realizar uma avaliação crítica ao final do processo para verificar se os objetivos de sustentabilidade (AESA) da contratação foram alcançados.
		A2	Realizar uma análise crítica periódica da estratégia de compras para garantir que ela evolua e contribua para as metas de sustentabilidade absoluta da organização.

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

15. 12. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz para as compras sustentáveis:

Diretriz: "P - Considerar nas decisões de compra os *hotspots* ambientais, usando referências da sustentabilidade absoluta."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

16. 13. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "P1 - Usar a AESA a partir de abordagem simplificada (*screening approach*) ou detalhada (*in-depth approach*) para definir as metas de sustentabilidade da organização (ex: redução de emissões e uso de recursos) que devem orientar as decisões de compras."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	Coluna 1	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

17. 14. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "P2 - Utilizar a AESA para priorizar as categorias de produtos (ou fornecedores) a serem analisados, com base nos seus riscos e oportunidades socioambientais."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

18. 15. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz:

Diretriz: "D - Adotar critérios de compras que avaliem os *hotspots* ambientais dos produtos com base em referências de sustentabilidade absoluta".

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

◀ ▶

19. 16. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "D1 - Estabelecer especificações técnicas e critérios de contratação que incorporem formalmente as análises da AESA."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

20. 17. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "D2 - Selecionar fornecedores com base, primordialmente, nas especificações e critérios de sustentabilidade absoluta (AESAs) que foram definidos."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

21. 18. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz:

Diretriz: "C - Monitorar as fases de seleção e gestão de contratos para verificar a conformidade dos fornecedores com os critérios de sustentabilidade absoluta (AESa)"

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

22. 19. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "C1 - Integrar métricas e indicadores de desempenho baseados em AESA no processo de gestão de contratos com fornecedores."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

03/02/26, 10:37

Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

23. 20. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "C2 - Monitorar o desempenho dos fornecedores e, com base nos resultados, criar planos de melhoria contínua para o seu desempenho ambiental absoluto."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

24. 21. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte diretriz:

Diretriz: "A - Utilizar o aprendizado das etapas anteriores para corrigir falhas e aprimorar continuamente o processo de compras sustentáveis."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

25. 22. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "A1 - Realizar uma avaliação crítica ao final do processo para verificar se os objetivos de sustentabilidade (AESAs) da contratação foram alcançados."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

26. 23. Em uma escala de 0 a 10, avalie a importância da seguinte ação-chave:

Ação-chave: "A2 - Realizar uma análise crítica periódica da estratégia de compras para garantir que ela evolua e contribua para as metas de sustentabilidade absoluta da organização."

Sendo 0 = Nenhuma importância, e 10 = Máxima importância / essencial

Regra de preenchimento: O valor **Pessimista** deve ser menor que o **Mais Provável**, e este, por sua vez, deve ser menor que o **Otimista**.

Marcar apenas uma oval por linha.

	0	1	2	3	4	5	6	7
Avaliação mínima (pessimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação mais provável	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Avaliação máxima (otimista)	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

27. 24. Por favor, forneça suas sugestões ou críticas sobre o framework.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

03/02/26, 10:37 Aquisição de Alimentos com Foco em Avaliação da Sustentabilidade Ambiental Absoluta (Painel de especialistas - 1ª rodada)

APÊNDICE B – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO FRAMEWORK FP-AESA

sp.	1			2			3			4			5			6			7			8			9			10			11			12			13		
	G1			G2			G1			G1			G1			G2			G1			G1			G2			G2			G2			G2			G2		
	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U	L	M	U
Q6	5	6	7	3	4	8	6	8	10	2	4	6	6	8	10	8	9	10	3	7	8	1	3	6	8	9	10	8	9	10	6	8	10	6	8	10	3	4	5
Q7	6	7	8	2	4	7	3	6	7	2	4	6	5	8	10	3	5	6	3	5	8	1	3	7	6	7	9	7	9	10	5	7	9	4	5	6	2	3	4
Q8	8	9	10	4	6	8	3	5	7	2	4	6	7	8	10	4	5	6	5	7	8	8	3	1	8	9	10	6	8	9	4	7	9	8	9	10	4	6	7
Q9	7	8	9	1	2	4	1	3	6	2	4	6	5	7	9	1	2	3	5	7	9	0	3	6	3	4	5	5	6	8	1	5	8	1	3	5	1	2	5
Q10	7	8	9	2	5	7	2	5	7	2	4	6	5	8	10	4	5	6	5	7	9	2	3	6	5	6	7	7	8	9	2	6	7	6	8	10	4	6	7
Q11	8	9	10	1	3	5	3	5	7	2	4	6	4	7	8	2	3	4	7	8	9	1	3	4	6	7	8	7	8	9	2	5	7	4	5	6	1	2	4
Q12	5	6	7	1	3	4	2	4	6	2	4	6	6	8	10	8	9	10	7	9	10	2	3	7	7	8	9	8	9	10	7	9	10	6	8	10	4	6	8
Q13	6	7	8	2	5	7	4	6	8	2	4	6	6	8	10	8	9	10	5	7	8	1	5	7	5	6	8	7	9	10	3	6	9	8	9	10	4	6	7
Q14	7	8	9	3	5	8	2	3	4	2	4	6	7	9	10	4	5	6	3	5	8	1	3	7	7	8	9	6	7	8	5	8	9	6	7	8	3	5	7
Q15	5	6	7	1	2	4	1	3	5	2	4	6	7	9	10	4	5	6	8	9	10	2	4	6	5	6	7	7	8	9	5	8	10	8	9	10	4	6	7
Q16	7	8	9	2	4	7	1	4	6	2	4	6	6	8	10	2	3	4	3	7	10	2	5	7	6	7	9	7	8	9	5	8	10	6	7	8	4	6	8
Q17	8	9	10	3	5	8	2	4	6	2	4	6	6	8	9	8	9	10	6	8	10	2	5	7	4	5	7	8	9	10	2	6	9	8	9	10	4	6	8
Q18	7	8	9	4	6	8	3	5	7	2	4	6	7	9	10	6	7	8	6	8	10	2	4	6	7	8	9	7	8	9	5	8	10	6	7	8	4	6	7
Q19	8	9	10	4	6	8	2	4	6	2	4	6	6	8	10	0	1	2	5	8	10	1	5	6	7	8	9	7	8	9	5	8	10	6	7	8	4	6	7
Q20	8	9	10	2	4	5	1	3	5	2	4	6	7	9	10	0	1	2	8	9	10	2	4	6	8	9	10	7	8	9	5	8	10	8	9	10	3	4	5
Q21	8	9	10	4	6	8	3	5	7	2	4	6	7	9	10	0	1	2	5	7	9	2	4	6	8	9	10	8	9	10	6	9	10	6	8	10	4	7	8
Q22	8	9	10	5	7	8	2	5	7	2	4	6	6	8	10	8	9	10	8	9	10	2	6	8	8	9	10	8	9	10	8	9	10	6	7	8	4	6	7
Q23	8	9	10	5	7	8	1	3	5	2	4	6	7	9	10	7	9	10	6	7	8	4	6	7	8	9	10	7	8	9	6	8	10	8	9	10	4	6	7

G 1 - Administrativo/TI

G 2 - Pesquisador/Professor

APÊNDICE C – COMENTÁRIOS DOS ESPECIALISTAS SOBRE O FRAMEWORK FP-AESA

Sobre o formato do questionário:

“Questionário longo e a utilização desde o início de siglas.” (Especialista 8).

Avaliar a necessidade da aquisição:

“Um ponto que poderia ser pensado é algo relação a decisão pela compra. Acredito que a avaliação no processo de compras deve ser realizada em duas partes. A primeira seria a própria análise interna da empresa em relação a qual a real necessidade da aquisição do produto ou serviço (pensando que existem vezes as aquisições são desnecessárias ou não interfeririam na atividade principal da empresa). A segunda já seria considerando que realmente a aquisição é necessária, aí seria avaliado, de um lado a aquisição em si (se produto ou serviço, considerando a qualidade deles e demais parâmetros alinhados a sustentabilidade) e de outro lado o fornecedor que está fornecendo o produto ou serviço. Acredito que esta segunda parte já é abordada no framework, mas a primeira parte não fica claro nele.” (Especialista 12)

Associar o framework a ações de capacitação dos profissionais que irão utilizá-lo:

“A ideia do framework é muito interessante, e seu desenvolvimento contempla diversos aspectos importantes e relevantes para as compras sustentáveis. A única crítica diz respeito à sua usabilidade por profissionais que não tenham tanta familiaridade com os conceitos apresentados. Pensando em uma aplicação prática, seria interessante que a empresa que adotar a ferramenta associasse a ela uma capacitação — não necessariamente complexa — que apresentasse os conceitos básicos aos profissionais que irão utilizá-la.” (Especialista 5)

Incluir análise de trade-offs de diferentes limites planetários:

“Gosto muito da proposta do framework, parabéns pela iniciativa! A estrutura em fases e ações-chave está muito clara e coerente. Acredito, no entanto, que o principal desafio está em tornar as diretrizes realmente operacionais para empresas do setor alimentício, considerando a complexidade das cadeias de suprimentos e a diversidade de fornecedores. Outro ponto que poderia fortalecer o framework é incluir a análise de trade-offs entre diferentes limites planetários, permitindo uma avaliação mais holística e integrada das decisões de compra. Por fim, considerar o volume total de compras dentro das metas e

indicadores de sustentabilidade absoluta seria essencial, uma vez que ele influencia diretamente a capacidade da organização de atingir impactos compatíveis com os limites planetários." (Especialista 6)

Mencionar downscaling e upscaling:

"Creio que o Framework é pertinente à temática e totalmente aderente às compras públicas. Porém, senti falta da menção às abordagens utilizadas para o cálculo do downscaling e upscaling. Tais variações alteram muito os resultados, então essa descrição precisa estar clara no método. " (Especialista 7)

Adoção por empresas com maturidade nas questões ambientais

"Na minha opinião, o framework está bastante robusto e interessante! Parabéns pelo desenvolvimento. A única observação é que acredito ser uma abordagem a ser adotada por empresas que já têm um certo avanço nas questões ambientais, dado o nível técnico da ferramenta." (Especialista 9)

Adoção da AESA em conjunto com outros indicadores de sustentabilidade

"Além disso, vejo que pensar na sustentabilidade absoluta deve ser um dos indicadores de sustentabilidade, dado que existem altas incertezas na metodologia e nos bancos de dados." (Especialista 9)

Disponibilidade e Complexidade no uso de dados primários para contabilização de impacto

"O uso de dados primários para contabilização de impacto pode ser inviável pensando em todas as compras públicas e pode ser interessante/necessário o fornecimento de impactos padrão para que as empresas possam executar a abordagem mais facilmente. Ou o desenvolvimento de ferramentas de cálculo simplificadas, como a opção do GHG Protocol, que poderia ser sugerido para trabalhos futuros." (Especialista 9)

"A abordagem é bem feita e clara. Todavia, muitas vezes tive em mente a disponibilidade de dados para que a ação pudesse ser executada, levando em conta que os fornecedores podem não ter dados que possibilitem a avaliação ambiental da forma pretendida. Isso pode ser influenciado tendenciosamente as minhas respostas." (Especialista 11)

AESA ambiental e social

“Uma sugestão seria avaliar a relevância de incluir aspectos sociais da sustentabilidade na seleção de fornecedores (por exemplo, trabalho decente).” (Especialista 10)

**APÊNDICE D – PRINCÍPIOS E EQUAÇÕES PARA ESTIMAR O ESPAÇO OPERACIONAL SEGURO ALOCADO (ASOS)
ADOTADOS NA AESA**

Quadro A 16 – Descrição do princípio de compartilhamento baseado na contribuição energética (calorias) dos alimentos seguindo Goss e Sherwood (2024) e Freitas *et al.* (em preparação)

Escala			Teoria de justiça distributiva	Moeda	Padrão	Alvo	Escopo geográfico	Escopo temporal	Restrições e cláusulas
Do global individual	ao		Igualitário	SOS como recurso finito	Atribuição igualitária de espaço operacional seguro entre os indivíduos	Indivíduos	Global	Distribuição anual com base na população em 2018	NA
Do indivíduo alimento	ao		Suficientismo	Bem-estar	O espaço seguro atribuído é proporcional à contribuição energética do alimento em quilocalorias para o indivíduo adulto	Alimentos	Brasil	Distribuição anual com base na população em 2018	NA

Fonte: elaborado pela autora.

Equação:

$$aSOS_{UF,c}(t) = SOS_{global,c}(t) \times \left(\frac{1}{Pop_{global}(t)} \right) \times \left(\frac{Kcal_{refeição(t)}}{Kcal_{necessária(t)}} \right) \quad (A1)$$

Onde:

- $aSOS_{UF,c}$: Espaço Operacional Seguro Alocado (aSOS) para o consumo do alimento na pegada p no ano de 2018;
- $SOS_{global,c}$: PB Food Global total para a categoria c (Rockström *et al.*, 2025);
- $Pop_{global}(t)$: Corresponde à população mundial no ano de 2018, utilizada para distribuir o orçamento igualitariamente (The World Bank, 2025);
- $Kcal_{alimento}(t)$: É o conteúdo calórico em quilocalorias fornecido pelo alimento consumido no ano de 2018;
- $Kcal_{necessária}(t)$: É a necessidade calórica média anual *per capita* recomendada para a manutenção de uma vida saudável para indivíduo adulto; e
- PC: Princípio de compartilhamento para atribuição da cota ambiental segura ao consumo do alimento.

Fonte: Freitas *et al.* (2026)

Quadro A17 – Descrição do princípio de compartilhamento baseado na contribuição de nutrientes (micronutrientes, vitaminas e minerais) dos alimentos seguindo equação de Heide *et al.* (2021)

Escala			Teoria de justiça distributiva	Moeda	Padrão	Alvo	Escopo geográfico	Escopo temporal	Restrições e cláusulas
Do global individual	ao		Igualitário	SOS como recurso finito	Atribuição igualitária de espaço operacional seguro entre os indivíduos	Indivíduos	Global	Distribuição anual com base na população em 2018	NA
Do indivíduo alimento	ao		Suficientismo	Bem-estar	O espaço seguro atribuído é proporcional à média de macronutrientes, vitaminas e minerais fornecidos pelo alimento	Alimentos	Brasil	Distribuição anual com base na população em 2018	NA

Fonte: elaborado pela autora.

Equação:

$$aSOS_{UF,c}(t) = \frac{SOS_{global,c}(t)}{Pop_{global}(t)} \times \frac{1}{365} \times \frac{1}{3} \sum_{i \in S}^3 A_c^{(i)} \quad (A2)$$

Onde:

- $aSOS_{UF,c}$: Espaço Operacional Seguro Alocado (aSOS) para o consumo do alimento na pegada p no ano de 2018;
- $SOS_{global,c}$: PB Food Global total para a categoria c (Rockström *et al.*, 2025);
- $Pop_{global}(t)$: Corresponde à população mundial no ano de 2018, utilizada para distribuir o orçamento igualitariamente (The World Bank, 2025); e
- A_c é média de macronutrientes, vitaminas e minerais fornecidos pelo alimento.

Fonte: adaptada de Heide *et al.* (2022)

Quadro A18 – Descrição do princípio de compartilhamento baseado na capacidade de pagamento a partir do valor do alimento frente ao Produto Interno Bruto (PIB), Despesa do consumo final (FCE) e Valor adicionado bruto (VAB) (seguindo o método de Hjalsted *et al.*, 2020)

Escola	Teoria de justiça distributiva	Moeda	Padrão	Alvo	Escopo geográfico	Escopo temporal	Restrições e cláusulas
Do global ao individual	Igualitário	SOS como recurso finito	Atribuição igualitária de espaço operacional seguro entre os indivíduos	Indivíduos	Global	Distribuição anual com base na população em 2018	NA
Do indivíduo ao país	Prioritarismo	SOS como recurso finito	O espaço seguro atribuído é proporcional à contribuição do PIB/FCE/VAB <i>per capita</i> brasileiro em relação ao PIB/FCE/VAB <i>per capita</i> global e ao fator de escala α baseado na riqueza e na população.	Países	Global	Anual, com base no PIB/FCE/VAB de 2018 e na população de 2018	Países com menor PIB e com maior população receberão valor mais alto no fator de escala α . Exemplo: (ex: um país em desenvolvimento com alta densidade demográfica).
Do país ao alimento	Utilitarismo	SOS como recurso finito	O SOS é alocado de forma proporcional ao valor atribuído ao alimento em relação ao PIB/FCE/VAB <i>per capita</i> do Brasil.	Alimentos	Global	Anual, com base no PIB/FCE/VAB de 2018 e na população de 2018	NA

Fonte: elaborado pela autora.

Equações:

$$SOS_{UF,c}(t) = SOS_{global,c}(t) \times \left(\frac{1}{Pop_{Global}(t)} \times \frac{PIB_{pc_{global}}(t)}{PIB_{pc_{brasil}}(t)} \times \alpha \right) \times \left(\frac{Preço_{refeição}(t)}{PIB_{pc_{brasil}}(t)} \right) \quad (A3)$$

Onde:

- $aSOS_{UF,c}$: Espaço Operacional Seguro Alocado (aSOS) para o consumo do alimento na pegada p no ano de 2018;
- $SOS_{global,c}$: PB Food Global total para a categoria c (Rockström *et al.*, 2025);
- $Pop_{global}(t)$: Corresponde à população mundial no ano de 2018, utilizada para distribuir o orçamento igualitariamente (The World Bank, 2025a);
- $PIB_{pc_{global}}$ e $PIB_{pc_{Brasil}}$: Produto Interno Bruto *per capita* global e do Brasil para o ano de 2018;
- α (Fator de escala) (Hjalsted *et al.*, 2020); e
- Preço do alimento: Valor pago pelo consumidor final em 2018 (em dólares americanos correntes).

Nota: O PIB foi substituído pela Despesa do consumo final (FCE) ou Valor adicionado bruto (VAB), os outros termos da equação foram mantidos.

Para o cálculo do fator de escala α seguiu o método proposto por Hjalsted *et al.* (2020) e foi estimado para cada uma das *proxies* econômicas, a saber: PIB, FCE e VAB.

$$\alpha(t) = \frac{1}{\sum_{país} \left[\frac{PIB_{global}(t)}{PIB_{país}(t)} \times \left(\frac{POP_{país}(t)}{POP_{global}(t)} \right)^2 \right]} = \frac{Pop_{mundial}(t)^2}{PIB_{Global} \times \sum_{país} \left[\frac{POP_{país}(t)^2}{PIB_{país}(t)} \right]} \quad (A4)$$

Onde:

- $PIB_{pglobal}$ e $PIB_{país}$: Produto Interno Bruto global e do Brasil para o ano de 2018;
- $Pop_{global(t)}$ e $Pop_{país(t)}$: Corresponde à população global e brasileira no ano de 2018 (The World Bank, 2025a).

Tabela A1 – Dados populacionais e econômicos utilizados no estudo de caso 1

Variáveis				
	Area	Unidade	2018	Fonte
População total	Globo	Pessoa	7,73E+09	(ONU; Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, 2025)
	Brasil	Pessoa	2,06E+08	(ONU; Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, 2025)
	Contribuição do BR para a população global	Porcentagem	2,67%	Calculado
PIB	Globo	(current US\$)	8,71E+13	(WORLD BANK, 2025)
	Brasil	(current US\$)	1,92E+12	(WORLD BANK, 2025)
	Contribuição do BR para o PIB global	Porcentagem	2,20%	Calculado
FCE	Globo	(current US\$)	6,34E+13	(WORLD BANK, 2025)
	Brasil	(current US\$)	1,62E+12	(WORLD BANK, 2025)
	Contribuição do BR para o FCE global	Porcentagem	2,55%	Calculado
GVA	Globo	(current US\$)	7,55E+13	(WORLD BANK, 2025)
	Brasil	(current US\$)	1,55E+12	(WORLD BANK, 2025)
	Contribuição do BR para o GVA global	Porcentagem	2,05%	Calculado

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela A2 – Dados populacionais e econômicos utilizados no estudo de caso 2

Variáveis	Area	Unidade	2024	Fonte
População total	Globo	Pessoa	8,16E+09	(ONU; Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, 2025)
	Brasil	Pessoa	2,12E+08	(ONU; Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, 2025)
	Contribuição do BR para a população global	Porcentagem	2,60%	Calculado
PIB	Globo	(<i>current US\$</i>)	1,11E+14	(WORLD BANK, 2025)
	Brasil	(<i>current US\$</i>)	2,19E+12	(WORLD BANK, 2025)
	Contribuição do BR para o PIB global	Porcentagem	1,97%	Calculado
FCE	Globo	(<i>current US\$</i>)	8,17E+13	(WORLD BANK, 2025)
	Brasil	(<i>current US\$</i>)	1,81E+12	(WORLD BANK, 2025)
	Contribuição do BR para o FCE global	Porcentagem	2,21%	Calculado
GVA	Globo*	(<i>current US\$</i>)	9,43E+13	(WORLD BANK, 2025)
	Brasil*	(<i>current US\$</i>)	1,91E+12	(WORLD BANK, 2025)
	Contribuição do BR para o GVA global	Porcentagem	2,03%	Calculado

Fonte: elaborada pela autora.

Nota: * Para o GVA foram adotados os dados de 2023, pois foi o último ano com dados disponíveis de GVA mundial e para o Brasil.

APÊNDICE E – INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO ESTUDO DE CASO 2

Tabela A3 – Inventário do Ciclo de Vida do estudo de caso 2

Tipo	Aspecto	Nome do fluxo (Open LCA)	Quantidade/ UF	Unidad e/UF
Entrada	Água para preparação e distribuição	tap water production, conventional treatment tap water Cutoff, U - BR	5,962334	kg
	Energia elétrica para preparar, servir e limpar	market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-South-eastern grid	0,390827	KWh
	Energia elétrica para cocção	market for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, U - BR-South-eastern grid	0,091907	KWh
	GLP Para coça	market for liquefied petroleum gas {BR}	0,710384	kg
	Proteína de soja	soybean production soybean Cutoff, U - BR-MT	0,003200	kg
	Repolho roxo	[RU ADAPTADO BR] cabbage red production cabbage red Cutoff, U - GLO	0,012400	kg
	Repolho branco	[RU ADAPTADO BR] cabbage white production cabbage white Cutoff, U (copy)	0,037200	kg
	Peito de frango	[RU ADAPTADO BR] chicken production chicken for slaughtering, live weight Cutoff, U (copy)	0,105000	kg
	Feijão carioquinha	[RU ADAPTADO BR] fava bean production fava bean Cutoff, U (copy)	0,147000	kg
	Alface	[RU ADAPTADO BR] lettuce361 production lettuce Cutoff, U (copy)	0,023000	kg
	Rúcula	[RU ADAPTADO BR] lettuce361 production lettuce Cutoff, U (copy)	0,023000	kg
	Leite integral	[RU ADAPTADO BR] milk production, from cow cow milk Cutoff, U (copy) - RoW	0,008052	kg
	Cebola	[RU ADAPTADO BR] onion production onion Cutoff, U (copy) - RoW	0,004500	kg
	Cebolinha	[RU ADAPTADO BR] onion production onion Cutoff, U (copy) - RoW	0,000440	kg
	Laranjas do tipo pêra	[RU ADAPTADO BR] orange production, fresh grade orange, fresh grade Cutoff, U (copy) - RoW	0,041722	kg
	Batata comum	[RU ADAPTADO BR] potato production potato Cutoff, U (copy) - RoW	0,034409	kg

Ervilha partida	[RU ADAPTADO BR] protein pea production protein pea Cutoff, U (copy) - RoW	0,003333	kg
Arroz branco tipo agulhinha e mix parbolizado	[RU ADAPTADO BR] rice production, non-basmati rice, non-basmati Cutoff, U (copy)	0,369600	kg
Óleo de soja	[RU ADAPTADO BR] soybean oil refinery operation soybean oil, refined Cutoff, U (copy) - RoW	0,052800	kg
Molho de tomate industrializado	[RU ADAPTADO BR] tomato production, processing grade, open field tomato, processing grade Cutoff, U (copy) - RoW	0,015000	kg
Farinha de trigo	[RU ADAPTADO BR] wheat grain processing, dry milling wheat flour Cutoff, U (copy) - RoW	0,000500	kg
Abóbora seca	[RU ADAPTADO BR] zucchini production zucchini Cutoff, U (copy) - GLO	0,049800	kg
Carne moída patinho	beef cattle production on pasture and feedlot cattle for slaughtering, live weight Cutoff, U - BR	0,087384	kg
Batata industrializada em flocos	potato production potato Cutoff, U - RoW	0,047453	kg
Arroz integral	rice production, non-basmati rice, non-basmati Cutoff, U - RoW	0,052800	kg
Sal	salt production from seawater, evaporation pond salt Cutoff, U - GLO	0,017843	kg
Alho	[RU ADAPTADO BR] onion production onion Cutoff, U (copy) - RoW	0,005032	kg
Embalagem de leite	Embalagem cartonada para leite	0,160000	kg
Embalagem PET	packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U - RoW	0,087267	kg
Embalagem do tipo PEAD (Polietileno de Alta Densidade)	polyethylene terephthalate production, granulate, bottle grade polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade Cutoff, U - RoW	0,012778	kg
Embalagem de sobremesa - Poliestireno (PS)	polypropylene production, granulate polypropylene, granulate Cutoff, U - RoW	1,200000	kg
Embalagem de Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	polyethylene terephthalate production, granulate, bottle grade polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade Cutoff, U - RoW	0,122833	kg
Embalagem saco em rede em polietileno	polyethylene terephthalate production, granulate, bottle grade polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade Cutoff, U - RoW	0,048503	kg

	Bandeja de isopor 0,5 kg (Poliestireno Expandido (EPS - Expanded Polystyrene)	polypropylene production, granulate polypropylene, granulate Cutoff, U - RoW	0,048503	kg
	Embalagem da Rúcula (Polietileno de Baixa Densidade (PEBD))	packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U – RoW	0,300000	kg
	Embalagem genérica	packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U – RoW	0,201780	kg
	Embalagem genérica (limpeza)	packaging film production, low density polyethylene packaging film, low density polyethylene Cutoff, U – RoW	0,004000	kg
	Solução de Hipoclorito de Sódio (NaClO)	market for chlorine BR	0,000446	kg
	Detergente para limpeza dos espaços	soap production soap Cutoff, U – RoW	0,002285	kg
	Detergente para máquina de lavar louças	soap production soap Cutoff, U – RoW	0,000102	kg
	Sabão em pó para lavagem semanal do salão	soap production soap Cutoff, U – RoW	0,002219	kg
	Secante para máquina de lavar louças	market for surfactant, non-ionic GLO	0,002219	kg
	Transporte dos alimentos de Itapetininga	[RU ADAPTADO BR] transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U (copy) - BR	0,094291	t*km
	Transporte de ingredientes de São Carlos	[RU ADAPTADO BR] transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated Cutoff, U (copy) - BR	0,005877	t*km
	transporte de frutas, verduras e hortaliças da origem até o Ceasa de Campinas-SP	transport, freight, lorry, all sizes, unregulated to generic market for transport, freight, lorry, unspecified transport, freight, lorry, unspecified Cutoff, U - BR	0,007086	t*km
Saída	transporte para o Aterro Sanitário Sorocaba	transport, freight, light commercial vehicle, unregulated	0,002488	t*km

transporte para o Reciclagem Sorocaba	transport, freight, light commercial vehicle, unregulated	0,000069	t*km
transporte para o Aterro Sanitário Itapetininga	transport, freight, light commercial vehicle, unregulated	0,030904	t*km
transporte para o Transbordo Itapetininga	transport, freight, light commercial vehicle, unregulated	0,001530	t*km
transporte para o Reciclagem Itapetininga	transport, freight, light commercial vehicle, unregulated	0,000113	t*km
transporte para o Orgânico Sorocaba	transport, passenger car with internal combustion engine	0,000592	t*km
transporte para o Aterro Sanitário Sorocaba	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, unregulated	0,013061	t*km
transporte para o Reciclagem Sorocaba	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, unregulated	0,000503	t*km
transporte para o Aterro Sanitário Itapetininga	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, unregulated	0,162246	t*km
transporte para o Transbordo Itapetininga	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, unregulated	0,008032	t*km
transporte para o Reciclagem Itapetininga	transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, unregulated	0,000592	t*km
transporte para o Orgânico Sorocaba	transport, freight, light commercial vehicle, unregulated	0,009289	t*km
Caminhão refeições - Emissões de CO2 (t) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000047	kg
Caminhão refeições - Emissões totais (t CO2e)	Carbon dioxide, biogenic	0,000047	kg
Caminhão ingredientes - Emissões de CO2 (t) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000024	kg
Caminhão ingredientes Emissões totais (t CO2e)	Carbon dioxide, biogenic	0,000025	kg
Aterro Sanitário Sorocaba Emissões de CO2 (t/ano) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000025	kg
Aterro Sanitário Sorocaba Emissões totais (t CO2e/ano)	Carbon dioxide, biogenic	0,000026	kg

Reciclagem Sorocaba Emissões de CO2 (t/ano) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000003	kg
Reciclagem Sorocaba Emissões totais (t CO2e/ano)	Carbon dioxide, biogenic	0,000003	kg
Orgânico Sorocaba - Emissões de CO2 (t/ano) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000001	kg
Orgânico Sorocaba - Emissões totais (t CO2e/ano)	Carbon dioxide, biogenic	0,000001	kg
Aterro Sanitário Itapetininga/Cesário Lange -Emissões de CO2 (t/ano) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000096	kg
Aterro Sanitário Itapetininga/Cesário Lange - Emissões totais (t CO2e/ano)	Carbon dioxide, biogenic	0,000097	kg
Transbordo Itapetininga - Emissões de CO2 (t/ano) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000005	kg
Transbordo Itapetininga - Emissões totais (t CO2e/ano)	Carbon dioxide, biogenic	0,000005	kg
Reciclagem Itapetininga - Emissões de CO2 (t/ano) fóssil	Carbon dioxide, fossil	0,000001	kg
Reciclagem Itapetininga - Emissões totais (t CO2e/ano)	Carbon dioxide, biogenic	0,000001	kg
GLP - Emissões CO2 (t)	Carbon dioxide, fossil	0,002082	kg
Aterro Cesário Lange - Emissão CH4 (t)	Methane	0,003579	kg
Aterro Cesário Lange - Emissão CO2eq. (t)	Carbon dioxide, biogenic	0,100202	kg
Aterro Iperó- Emissão CH4 (t)	Methane	0,000303	kg
Aterro Iperó - Emissão CO2eq. (t)	Carbon dioxide, biogenic	0,008477	kg

Aterro Iperó - Emissão CO2 biogênico (t)	Carbon dioxide, biogenic	0,002498	kg
Resíduos da cocção	biowaste, kitchen and garden waste	0,053269	kg
Sobras de comida	biowaste, kitchen and garden waste	0,015728	kg
Resíduo de casca de Frutas	biowaste, kitchen and garden waste	0,002207	kg
Plásticos variados das embalagens	waste polyethylene, for recycling, unsorted	0,007305	kg

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE F – DECLARAÇÃO DE USO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Eu, Erica Kushihara Akim, estudante do Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos (PPGPUR/UFSCar), declaro que:

Utilizei ferramentas de Inteligência Artificial Gemini Pro, de forma assistida e ética, responsável e transparente, sem substituição da autoria intelectual para os seguintes fins de revisão ortográfica, gramatical ou linguística, tradução de trechos do texto e organização ou reformulação textual, sem alteração do conteúdo científico.

Declaro, ainda, que:

- I. Todo o conteúdo científico, analítico e intelectual do trabalho é de minha responsabilidade;
- II. Nenhum conteúdo gerado por ferramentas de Inteligência Artificial foi incorporado de forma acrítica ou apresentado como produção intelectual original;
- III. O uso de ferramentas de Inteligência Artificial não comprometeu a originalidade, a integridade acadêmica nem a responsabilidade autoral do trabalho.

Erica Kushihara Akim