

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA (CCN)
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JOÃO PEDRO QUEIROGA MALUF

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA CRIAÇÃO DE MINIPORCOS-BR1 USADOS COMO
MODELO ANIMAL NA PESQUISA MÉDICA**

Buri - SP
2024

João Pedro Queiroga Maluf

**Avaliação ambiental da criação de miniporcospbr1 usados como modelo animal
na pesquisa médica**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental na Universidade
Federal de São Carlos.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Fonseca de
Almeida

Maluf, João Pedro Queiroga

Avaliação ambiental da criação de mini porcos-br1
usados como modelo animal na pesquisa médica / João
Pedro Queiroga Maluf -- 2024.
66f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Gustavo Fonseca de Almeida

Banca Examinadora: Yovana María Barrera Saavedra,
Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho

Bibliografia

1. Avaliação ambiental. 2. Análise de Ciclo de Vida. 3.
Suinocultura. I. Maluf, João Pedro Queiroga. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do(a) candidato(a) João Pedro Queiroga Maluf, realizada em 10/01/2024:



Documento assinado digitalmente
GUSTAVO FONSECA DE ALMEIDA
Data: 10/01/2024 14:18:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gustavo Fonseca de Almeida - Orientador
Centro de Ciências da Natureza - Campus Lagoa do Sino - UFSCar



Documento assinado digitalmente
YOVANA MARIA BARRERA SAAVEDRA
Data: 11/01/2024 10:26:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Yovana María Barrera Saavedra
Centro de Ciências da Natureza - Campus Lagoa do Sino - UFSCar



Documento assinado digitalmente
JORGE LUIS RODRIGUES PANTOJA FILHO
Data: 12/01/2024 11:45:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho
Centro de Ciências da Natureza - Campus Lagoa do Sino - UFSCar

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e amigos que sempre me apoiaram e incentivaram a ir cada vez mais longe.

AGRADECIMENTO

Agradeço imensamente a todas as pessoas que me deram suporte direta ou indiretamente para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Suas orientações, apoio e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse alcançar este momento tão importante em minha jornada.

Gostaria de agradecer ao Professor Gustavo Fonseca de Almeida, meu orientador, por seu empenho, dedicação e expertise que foram essenciais para a condução deste projeto. Suas orientações moldaram não somente o conteúdo deste trabalho, mas também minha compreensão mais profunda sobre o uso da metodologia análise do ciclo de vida em sistemas produtivos.

Não poderia deixar de agradecer aos meus colegas Tiago Nemo, Gabriela Giusti e ao Professor Jorge Luis Rodrigues Pantoja Filho, cuja troca de ideias, discussões, auxílio e apoio enriqueceram este trabalho e foram indispensáveis para superar os desafios que apareceram ao longo deste percurso.

Ainda gostaria de expressar minha gratidão a Ana Maria e Zé Roberto, que me receberam em sua propriedade e me apoiaram durante a elaboração desse trabalho, agradecer à dona Benedita, Carlinhos e Alexandre, que me receberam de braços abertos e me transmitiram todo seu conhecimento sobre a propriedade e todas as atividades lá desenvolvidas, sem o apoio e parceria deles esse trabalho não teria sido possível.

Minha família e amigos merecem um agradecimento especial por todo o apoio que me forneceram me mantendo motivado durante todo este processo. E, acima de tudo, minha mãe merece uma menção de agradecimento profunda. Seu amor e apoio constante sempre me motivaram a ir cada vez mais longe em busca dos meus objetivos.

Por mais brilhante que a estratégia seja, você deve sempre
olhar para os resultados
(Winston Churchill)

RESUMO

Este estudo concentrou-se na avaliação ambiental da criação de miniporcos (minipig-br1), uma raça miniatura utilizada como modelo animal em pesquisas médicas. O trabalho ocorreu na Fazenda Três Marias, em Campina do Monte Alegre - SP, e o sistema de criação investigado se diferencia das práticas convencionais da suinocultura industrial, propondo-se a produzir animais de pequeno porte e com características favoráveis à sua utilização em ensino e pesquisas médicas. O objetivo geral deste trabalho foi analisar os impactos ambientais associados a este sistema, propondo medidas tangíveis para minimizá-los. A metodologia adotada envolveu a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), abrangendo desde a produção na fazenda até a entrega no hospital Sírio-Libanês, em São Paulo, onde os animais são utilizados para ensino e pesquisa. Um inventário detalhado foi elaborado, mapeando todas as etapas da produção. A análise ambiental, realizada por meio do uso do software Simapro® versão 9.5, incluiu diferentes categorias de impacto ambiental, identificando pontos críticos em cada uma delas. As análises realizadas destacaram que, para a categoria de mudanças climáticas, a alimentação animal contribuiu com aproximadamente dois terços das emissões de GEEs e o manejo do esterco também contribuiu significativamente. Recomendações para a mitigação incluíram desde a substituição parcial da dieta animal e de fonte da silagem (com a inclusão de capineiras em substituição a silagem de milho) ao tratamento dos dejetos por meio de biodigestores. O estudo ofereceu uma avaliação crítica do cenário ambiental da criação de miniporcos utilizados para ensino e pesquisa médica, identificando oportunidades para aprimoramento sustentável do sistema de produção desses animais. Ao abordar a relação entre a criação de miniporcos e seus impactos ambientais, o estudo abre a possibilidade para a incorporação da abordagem do ciclo de vida na pesquisa médica que utiliza o minipig-br1 como modelo animal.

Palavras-chave: Avaliação ambiental. Análise de Ciclo de Vida. Suinocultura. Minipig.

ABSTRACT

This study focused on the environmental assessment of the miniature pigs (minipig-br1) production system, a miniature breed used as animal model in education and medical research. The study was performed at Fazenda Três Marias, in Campina do Monte Alegre – Sao Paulo and the investigated production system deviate from conventional practices of industrial pig farming, aiming to produce small-sized pigs with favorable characteristics to education and medical research. The overall objective of this work was to analyze the environmental impacts associated with this production system, proposing tangible measures to mitigate them. The adopted methodology was the Life Cycle Assessment (LCA), encompassing the entire production processes from the farm until delivering the minipigs at the Sírio-Libanês Hospital in São Paulo city where the animals were used for teaching and research. A detailed inventory was compiled, that mapped all production stages inside the gate. The environmental analysis was performed using Simapro® 9.5 software, including various environmental impact categories, identifying critical points for each of them. The analyses highlighted that for the Climate Change category the animal feeding contributed to approximately two-thirds of the greenhouse gas emissions and the manure management played a significant role. Mitigation recommendations ranged from partial substitution of the animal diet and changing the silage source (changing maize silage) to the treatment of manure through biodigesters. The study provided a critical assessment of the environmental scenario for the minipig-br1 production system, identifying opportunities for sustainable improvement. By addressing the relationship between the minipig raising and its related environmental impacts, it is expected that the results can contribute to the integration of a life cycle assessment approach in medical research utilizing minipig-br1 as an optimal animal model.

Keywords: Environmental Assessment. Life Cycle Analysis. Pig Farming. Minipig.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVO	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 SUINOCULTURA	12
3.2 SUINOCULTURA E O MEIO AMBIENTE	13
3.3 MINIPORCOS NA PESQUISA MÉDICA	15
3.4 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA	15
3.5 ÁREAS DE INTERESSE AMBIENTAL	18
3.5.1 Produção de grãos e silagem	18
3.5.2 Frequência da alimentação e elaboração da dieta	19
3.5.3 Manejo dos dejetos	20
4 METODOLOGIA	20
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE	21
4.2 DELIMITAÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA PARA A ACV	23
4.3 ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA	25
4.3.1 Plantação de milho para silagem	27
4.3.2 Ração	28
4.3.3 Suinocultura	29
4.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTOS	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Inventário de Ciclo de Vida	31
5.1.1 Entradas	32
5.1.1.1 Ração	32
5.1.1.2 Silagem	33
5.1.1.3 Água	33
5.1.1.4 Eletricidade	34
5.1.1.5 Combustível	34
5.1.1.6 Mão de obra	34
5.1.1.7 Medicamentos	34
5.1.2 Saídas	35
5.1.2.1 Dejetos	35
5.2 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA	37
5.3 ANÁLISE DOS AGROECOSSISTEMAS	43
5.3.1 Talhões de milho	43

5.3.2 Área destinada a suinocultura	49
5.3.3 Lago	53
6 CONCLUSÃO	54
ANEXO A – MODELO DE GRANJA DE PRODUÇÃO DE SUINOS	62
APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR DE LAGOA COBERTA	63
APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DO REATOR UASB	64

1. INTRODUÇÃO

Os suínos surgiram como modelos valiosos para pesquisas médicas devido às suas características bastante similares às dos seres humanos, desempenhando um papel fundamental no avanço da ciência médica e no ensino de procedimentos clínicos aplicáveis à saúde humana (Gutierrez et al., 2015). Devido à dificuldade de manter animais de grande porte em ambientes laboratoriais e clínicos, pesquisadores viram a oportunidade de desenvolver animais de menor porte, mais adaptados a esses ambientes e que demandam menos insumos, dando origem assim ao minipig.

Os animais miniaturas apresentam aproximadamente 0,5 kg quando nascem e variam de 12 a 45 kg aos quatro a seis meses de idade. Já os porcos de criação nos sistemas convencionais, para produção de carne, numa comparação, atingem o peso de 100 kg em até quatro meses de idade.

Segundo Lainetti (2018), os porcos domésticos têm sua origem no javali da Eurásia e, embora haja diferenças entre os porcos criados nos sistemas convencionais para produção de carne e os minipigs, ambos são caracterizados taxonomicamente como *Sus scrofa*. Assim, o fator mais importante para a diferenciação dos porcos criados para a produção de carne para os minipigs está na herança genética conferida pela seleção genética realizada pelos produtores depois da domesticação da espécie, e é diretamente influenciada pelo manejo e alimentação dos animais.

Enquanto os porcos criados em sistemas industriais e destinados ao abate para alimentação humana recebem dietas ricas em grãos e cereais de fácil conversão alimentar como o farelo de soja e o milho moído, que são fornecidos na maior parte do tempo à vontade ao longo da vida produtiva desses animais, que são criados em sistemas intensivos dentro de um modelo industrial, os minipigs recebem uma dieta mais restrita, apenas uma vez por dia, e é elaborada, no Brasil, a base de cereais como trigo, arroz e milho (Holtz, 2010).

A suinocultura tem despertado a atenção de governos e entidades ambientalistas devido ao seu considerável potencial de impactos ambientais. Segundo Lainetti (2018) o desenvolvimento de raças de miniporcos, embora guiado por estratégias de seleção semelhantes em diferentes países, em momentos distintos e sob programas de melhoramento genético específicos, ainda resulta em problemas ambientais análogos aos observados na suinocultura industrial. Segundo McAuliffe et al. (2016), as preocupações ambientais abrangem o alto consumo de água, a deterioração da qualidade do ar devido à emissão de vapores e material particulado, e, principalmente, os efeitos prejudiciais decorrentes do manejo inadequado dos dejetos animais. A gestão deficiente desses resíduos pode acarretar impactos significativos e negativos no ambiente, afetando tanto a qualidade do solo quanto da água e do ar.

Consequentemente, há um imperativo crescente para realizar avaliações ambientais abrangentes nas diferentes etapas que envolvem as cadeias de produção dessa espécie animal. Essas avaliações visam identificar as etapas de produção para

que seja possível identificar os impactos gerados, apontar os gargalos do sistema e sugerir melhorias que sejam adequadas ao contexto específico do estudo.

Neste sentido, surgiu a questão que fundamentou o desenvolvimento deste trabalho: Quais são os impactos ambientais associados a este modelo alternativo de criação e como podem, estes, serem mitigados? Para isso, buscou-se conhecer, de forma abrangente, todo o sistema produtivo da Fazenda Três Marias. Durante o período de 12 meses (de janeiro a dezembro de 2022), foram identificadas todas as entradas e saídas do sistema de produção dos minipigs-br1, produzidos na Fazenda Três Marias, no estado de São Paulo. A abordagem permitiu avaliar os impactos gerados, identificar pontos críticos do sistema e propor melhorias que poderão, inclusive, entrar em uma classificação de prioridades dos proprietários para promover a melhoria ambiental do sistema de produção em questão.

O trabalho segue uma sequência metodológica que inicia com a introdução do contexto e relevância da avaliação ambiental na criação de miniporcos. Os objetivos são então delineados, seguidos por uma revisão bibliográfica que fundamenta os temas explorados. A metodologia descreve a caracterização da propriedade e o processo de elaboração da ACV. Os resultados incluem o inventário do sistema de criação e uma análise dos agroecossistemas da propriedade. Por fim, a conclusão sintetiza os principais achados e as contribuições do estudo. Essa estrutura proporciona uma apresentação lógica e coerente das etapas do trabalho, permitindo uma análise aprofundada dos resultados e uma reflexão consistente sobre os aspectos abordados.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar os impactos ambientais associados ao sistema de produção dos minipigs-br1. A partir desse objetivo geral foram definidos três objetivos específicos, sendo eles: I) mapear o sistema produtivo da propriedade e identificar todas as etapas; II) estimar os impactos ambientais e analisar os agroecossistemas da propriedade, e: III) revisar a literatura disponível sobre o assunto e discutir medidas para reduzir os impactos ambientais identificados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SUINOCULTURA

A suinocultura desempenha um papel importante na indústria alimentícia global, sendo um destacado setor primário de produção de proteína animal para o consumo humano. Outro papel importante do setor de produção de suínos é o fornecimento de animais para uso médico e laboratorial. Essa atividade envolve a criação, a reprodução e o manejo de suínos, para seu uso como modelo animal em estudos médicos. Seja para a produção de alimentos, seja para a produção de cobaias para estudos e pesquisas médicas, a suinocultura também levanta questões importantes sobre ética, conforme exposto nos trabalhos de Mattaraia et al. (2012) e

Foster et al. (2010). Os autores destacam que as criações de animais para o abate e para o uso em laboratório têm propósitos distintos e, conseqüentemente, abordagens e considerações diferentes no contexto do bem-estar animal. Na suinocultura industrial, destinada a produção de alimentos, os suínos foram selecionados para produzir carne no menor tempo possível e com a melhor eficiência na conversão alimentar quando confinados. Instalações de criação intensiva são comuns, com foco na maximização da eficiência na produção e na escala.

Por outro lado, a criação de animais para uso em laboratório visa à pesquisa científica e médica ao entregar cobaias de pequeno porte, que consomem volumes menores de alimentos e de medicamentos. Nesse contexto, como apresentado por Mariano (2003), os animais criados para estudos clínicos e pesquisas médicas não podem apresentar uma alta taxa de crescimento, o que dificultaria a realização dos estudos de longa duração. Além disso, às demandas do mercado destes animais miniatura são distintas do mercado para produção de carne suína, onde são buscadas qualidades específicas que melhor se enquadrem conforme os diferentes protocolos de pesquisa. Os padrões de cuidado e bem-estar animal podem ser mais rigorosos para esses casos, uma vez que a qualidade dos resultados da pesquisa depende da saúde física, mental e emocional dos animais utilizados (Foster et al., 2010).

Para Ribeiro (2022), a suinocultura, de forma geral, apresenta vários impactos ambientais que merecem consideração. Um dos mais importantes é a geração de resíduos, incluindo dejetos e efluentes ricos em nutrientes, que podem contaminar o solo e os recursos hídricos próximos se não forem tratados corretamente. A emissão de gases de efeito estufa, como o gás metano e o óxido nitroso, também é uma preocupação, visto que potencializam o efeito estufa, conseqüentemente contribuindo com as mudanças climáticas.

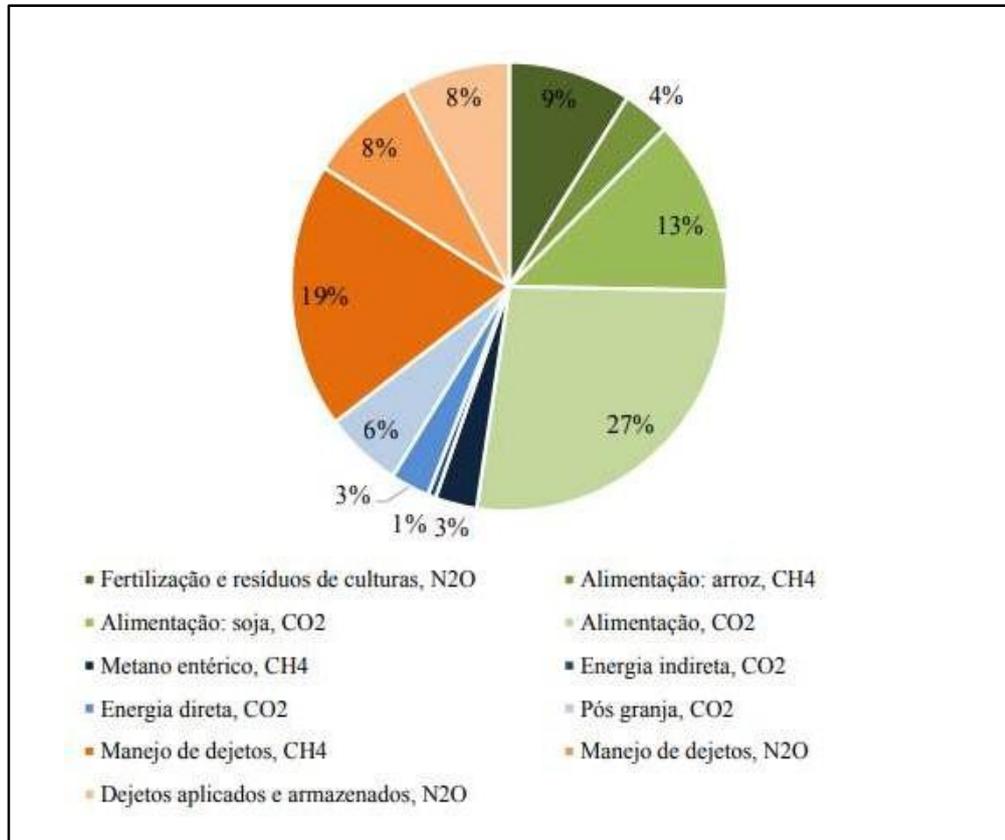
Além disso, a expansão das operações da suinocultura pode levar ao desmatamento para a criação de novos campos de cultivo agrícolas, resultando na perda de habitats naturais e de biodiversidade. A demanda por alimentos para os suínos também impulsionou a produção de grãos, como a soja e o milho, que muitas vezes está associada ao uso excessivo de recursos naturais, como água e terra, bem como ao uso intensivo de agroquímicos (Ito et al., 2016).

3.2. SUINOCULTURA E O MEIO AMBIENTE

A suinocultura industrial pode apresentar sérios impactos sobre o meio ambiente podendo contribuir com a contaminação do ar, da água e do solo, uma vez que o sistema intensivo de criação demanda níveis significativamente elevados de energia, água e alimentos com alto teor de energia e de proteínas (Monteiro, 2017). Essas entradas ao sistema de criação de suínos são responsáveis principalmente pela produção de metano (CH₄), amônia (NH₃) e outras emissões para o ar, assim como o manejo ineficiente dos dejetos representa um sério risco de contaminação do solo e da água (McAuliffe et al., 2016).

Globalmente, estima-se que a suinocultura gere 668 milhões de toneladas de CO₂-eq anualmente, provenientes da alimentação, alojamento e manejo de dejetos (Monteiro, 2017).

Figura 1 - Emissões de gases de efeito estufa geradas pela cadeia suinícola oriundas da alimentação (tons de verde), alojamento (tons de azul) e manejo de efluentes (tons de laranja).



Autor: (GERBER et al., 2013).

Segundo Gerber et al. (2013), a alimentação animal é a etapa que mais contribui com emissões de gases de efeito estufa (GEEs) na produção de suínos, com cerca de 53% das emissões do setor, seguida do manejo de efluentes, com aproximadamente 35% das emissões, e por fim o alojamento, que contribui com aproximadamente 12% das emissões.

O manejo dos dejetos é outro ponto que merece bastante atenção devido ao elevado número de contaminantes que podem ser gerados e que podem representar importante fonte de degradação dos recursos naturais. Os principais componentes poluentes presentes nos dejetos são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e os metais pesados, como zinco (Zn) e cobre (Cu), além de microrganismos patogênicos (Fernandes, 2012). Ainda segundo Fernandes (2012) a emissão destes componentes sem tratamento adequado para o solo e para a água pode ocasionar severos impactos ambientais como a eutrofização da água, a acidificação do solo além de outras alterações na qualidade do solo e da água que podem resultar em disfunções nos organismos vivos dependentes desses meios.

3.3. MINIPORCOS NA PESQUISA MÉDICA

Os miniporcões têm recebido cada vez mais atenção como valiosos recursos na pesquisa médica (Gutierrez et al., 2015). Para os autores, isso se deve às suas características anatômicas e fisiológicas e seu tamanho reduzido, que os tornam modelos ideais para diversos estudos. Para Fang et al. (2017), esses animais compartilham muitas semelhanças anatômicas, fisiológicas e genéticas com os seres humanos, o que os torna úteis na investigação de doenças, tratamentos e procedimentos médicos. Além disso, seu sistema imunológico e respostas a medicamentos frequentemente se assemelham aos humanos, possibilitando estudos mais relevantes e resultados mais aplicáveis.

O uso de miniporcões em pesquisas médicas oferece vantagens significativas. Seu tamanho compacto facilita o manuseio e a observação, permitindo um monitoramento mais preciso e simples. Citando Lainetti (2018), esses animais têm sido empregados em uma variedade de campos, como cardiologia, cirurgia, toxicologia, endocrinologia e farmacologia. Por exemplo, pesquisas sobre doenças cardíacas podem se beneficiar da anatomia cardíaca semelhante dos miniporcões, permitindo testes de novos dispositivos médicos e técnicas cirúrgicas. No campo da farmacologia, esses animais podem ser usados para avaliar a eficácia e a segurança de novos medicamentos antes dos ensaios clínicos em humanos assim como em testes sobre toxicidade de pesticidas e agrotóxicos.

No entanto, é crucial abordar as questões éticas e de bem-estar animal ao utilizar miniporcões em pesquisas médicas. Garantir condições adequadas de cuidado, considerar o sofrimento dos animais e minimizar o uso desnecessário são princípios fundamentais nesse contexto.

Embora os miniporcões tenham conquistado um papel destacado como recurso valioso para a pesquisa médica, é crucial recordar que esses animais são suínos domésticos que dependem de ração para alimentação, além disso, eles geram quantidades consideráveis de resíduos e estão associados a desafios ambientais semelhantes aos suínos destinados à produção de carne durante seu processo de criação. Como forma de contribuir com o avanço desse setor, compreender os principais gargalos do sistema pode permitir auxiliar tanto na criação dos animais, quanto no desenvolvimento de protocolos experimentais em estudos médicos que também podem levar em conta os impactos ambientais da produção desses animais, para incluir os potenciais impactos das futuras pesquisas médicas utilizando o minipig-br1 como modelo animal. Para tanto, a ACV se apresenta como uma importante ferramenta para realizar esse diagnóstico.

3.4. ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta de avaliação de impactos ambientais que foi desenvolvida para permitir a realização de diagnósticos a partir de uma análise de entradas e saídas em sistemas produtivos, com ênfase na identificação dos impactos ambientais para diferentes categorias de impacto. A metodologia permite estimar as emissões para a água, para o solo e para o ar, decorrentes da produção,

da utilização e da disposição final de um determinado produto. Permite avaliar os impactos ambientais associados ao uso dos recursos naturais (energia e materiais), as emissões de poluentes e a identificação de oportunidades para melhorar o sistema de forma a otimizar o desempenho ambiental do produto, do processo ou do serviço que estiver sendo investigado (Queiroz; Garcia, 2010).

Contudo, mais recentemente, esta metodologia também passou a ser utilizada no estudo dos impactos ambientais da produção agropecuária, principalmente, para sistemas produtivos de colheitas únicas, ou processos de produção de alimentos em escala industrial para monitorar os impactos e verificar pontos de estrangulamento (hotspots) com potencial de melhorias ambientais (Claudino; Talamin, 2013).

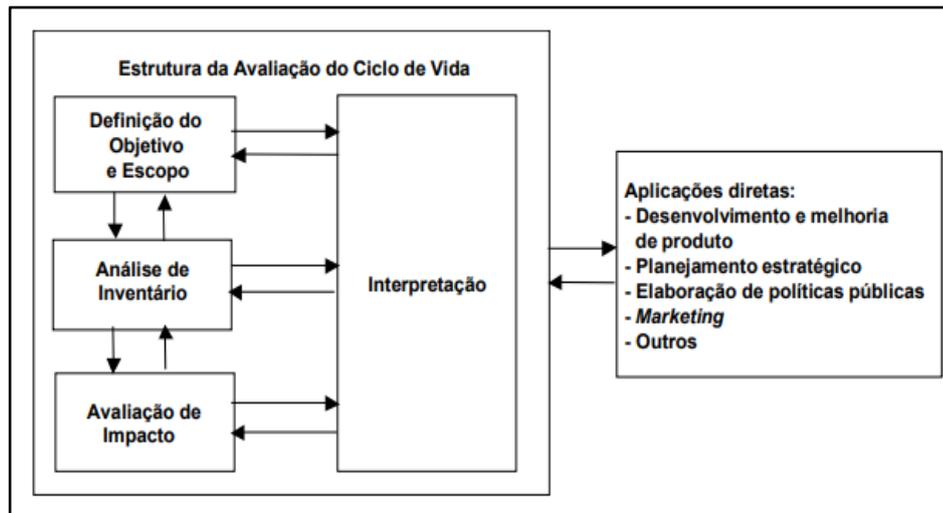
A mais importante característica da ACV (quando comparado a outros métodos de análises ambientais) é que a ACV aplica a perspectiva do ciclo de vida em que as saídas dos sistemas produtivos são traduzidas em potencial de impacto ambiental (Thrane; Schmidt, 2004). A ACV é uma ferramenta interativa e sempre que os dados e as informações são compilados, os aspectos do escopo podem ser adequados para se alcançar os objetivos originais do estudo (ELER; MILLANI, 2007). Além disto, a ACV pode ser conceituada como uma ferramenta para avaliar os efeitos ambientais de um produto, de um processo ou de uma atividade ao longo do seu ciclo de vida (Roy et al., 2009).

Com isso, a norma se caracteriza como uma das mais importantes metodologias de análise de impactos ambientais, pois é capaz de ser aplicada às complexas cadeias de produção agropecuárias. Segundo Preda (2015), a ACV é reconhecida mundialmente como um dos mais completos métodos avaliativos para a análise dos impactos ambientais de produtos alimentícios.

Segundo Roy et al (2009), existem três propósitos para a realização de uma ACV: (1) realizar uma comparação entre produtos concorrentes, avaliação de processos e ou serviços; (2) realizar a estimativa do ciclo de vida para certo produto ou serviço e compreender os impactos ao longo das etapas do processo; (3) identificação das etapas do ciclo de vida de um produto ou processo para identificação de melhorias produtivas que possam ser realizadas.

Segundo a norma ISO 14040 (2006), a metodologia ACV consiste no estabelecimento de uma avaliação que contempla quatro etapas, que podem ser repetidas diversas vezes, que são: 1) Definição do objetivo e do escopo, assim como a definição dos limites do sistema (fronteira) e sua unidade funcional; 2) A elaboração e a análise do inventário do sistema; 3) Classificação e caracterização dos impactos causados em cada etapa do sistema, conforme as categorias de impacto escolhidas, e; 4) Interpretação dos resultados, identificação dos impactos mais significativos e áreas de potencial redução de impactos. Embora as etapas se apresentem de forma pré-determinada, elas são repetidas diversas vezes para apresentar um resultado confiável, transparente e o mais próximo da realidade.

Figura 2 - Fases de um estudo de ACV.



Fonte: (ISO 14040, 2006).

A etapa inicial na Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), que engloba a definição do objetivo e do escopo do projeto, é fundamental para estabelecer com clareza o propósito do estudo e sua amplitude. Nesse momento, são tomadas decisões cruciais, como a delimitação das fronteiras do sistema estudado e a determinação da unidade funcional, que serve como referência quantitativa para relacionar todos os fluxos de entradas e saídas do sistema, conforme apontado por Preda (2015). Essas escolhas estratégicas têm impacto direto na qualidade e relevância dos resultados obtidos.

Os objetivos e o escopo dos projetos de ACV abrangem não apenas o contexto do estudo, mas também a audiência específica para a qual se pretende comunicar os resultados. Essa etapa inicial é crucial para garantir que a ACV seja conduzida de maneira alinhada com os objetivos traçados, proporcionando uma análise abrangente e consistente dos impactos ambientais associados ao sistema em questão.

Já na fase de Avaliação de Impacto, conforme definida pela norma ISO 14040 (2006), ocorre a análise da importância dos impactos ambientais potenciais. Aqui, os dados do inventário são associados aos impactos específicos, permitindo que os pesquisadores interpretem esses dados e identifiquem as etapas do sistema de produção com maior custo ambiental. É durante essa etapa que se faz necessário identificar as categorias de impacto consideradas, os indicadores adotados e a metodologia de análise empregada. A subdivisão proposta pela ISO 14040 contém passos como classificação, caracterização, normalização (opcional) e estimativa do impacto, que oferece uma estrutura que facilita a execução da Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV). Essa abordagem detalhada e organizada contribui para uma compreensão mais profunda dos resultados, tornando a ACV uma ferramenta valiosa na análise e na tomada de decisões sustentáveis.

Com base na revisão bibliográfica realizada para fundamentar este trabalho, é possível destacar etapas comuns na maioria dos trabalhos que concentram a maior parte dos impactos ambientais, sendo essas áreas de maior interesse para a promoção de métodos mais sustentáveis de produção. A transição entre a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a análise das "áreas de interesse ambiental"

na criação de miniporcos é crucial para que seja possível compreender o panorama completo dos impactos ambientais associados a essa atividade de produção animal. Enquanto a ACV fornece a estrutura metodológica necessária para quantificar e avaliar esses impactos de forma abrangente, a investigação das áreas de interesse ambiental nos permite identificar as etapas específicas do processo de criação de suínos que contribuem significativamente para esses impactos.

3.5. ÁREAS DE INTERESSE AMBIENTAL

Entre as etapas envolvidas no processo de criação de suínos, três áreas de interesse ambiental costumam ganhar destaque como principais geradores de impactos ambientais, mesmo em sistemas de produção alternativos como é o caso do minipig-br1. Estas áreas, numa aproximação dos resultados sugeridos por Gerber et al. (2013) e conforme sua importância nos processos de produção de suínos, são:

1. Produção de grãos e silagem
2. Frequência da alimentação e elaboração da dieta
3. Manejo dos dejetos

3.5.1. Produção de grãos e silagem

A produção de grãos está diretamente ligada à pegada ambiental da produção de suínos. Para Knoche (2016), a produção de grãos, destacadamente o milho e a soja, são os principais ingredientes utilizados na confecção da ração desses animais criados nos sistemas industriais, tem impactos significativos sobre o meio ambiente. Esses impactos vão desde a utilização de recursos naturais até as emissões de gases de efeito estufa associadas a queima de óleo diesel realizada em atividades de transporte e por tratores agrícolas que semeiam, cultivam, pulverizam e colhem os grãos.

A avaliação da produção de grãos ajuda a compreender uma etapa crítica dessas cadeias produtivas de abastecimento da suinocultura industrial. Além disso, esta avaliação permite compreender a relação indireta que a suinocultura tem com o uso de terra, da água e dos insumos agrícolas, uma vez que a produção de grãos utiliza grandes quantidades destes recursos. Com isso, compreender que há impactos diretos e indiretos é essencial para identificar práticas mais eficientes e implementar uma gestão mais sustentável de todos os elos da cadeia de valor, permitindo, ainda, evitar emissões de gases de efeito estufa associados ao ciclo de vida dos produtos agropecuários, desde seu plantio, passando pelo transporte até chegar no processamento e envio dos produtos para o consumo humano ou animal, e os impactos indiretos que esses ingredientes tem em relação à perda da biodiversidade, quando da conversão de áreas naturais em terras agrícolas para a produção desses grãos.

Em sistemas alternativos de produção animal, o fornecimento de silagem funciona como uma boa complementação na alimentação, mesmo no caso da produção de animais monogástricos como galinhas e porcos. Na opinião de Paziani et al., (2012) e Antunes (2018), mesmo que o milho seja o material vegetal mais utilizado

na confecção de silagem, outras plantas também são utilizadas, como é o caso da cana-de-açúcar, das capineiras e de outros resíduos do processamento de alimentos como resíduos de polpa de laranja, de abacaxi, manga e goiaba, das raspas, folhas e talos da mandioca, dentre outros.

Além dos impactos diretos da produção dos grãos e da silagem, outros impactos ambientais estão indiretamente associados à produção agropecuária, como o desmatamento, a ocupação e o uso de terras, o consumo de água, os impactos da produção dos insumos agrícolas, a emissão de gases de efeito estufa vinculados ao transporte de insumos, a perda de biodiversidade e da erosão de solo devido ao seu uso de forma inadequada na agricultura. A produção desses grãos irá alimentar cadeias produtivas bem estruturadas que irão beneficiar produtores independentes, cooperativas de produtores e empresas de produção de suínos industriais para a confecção da ração que será fornecida aos animais.

3.5.2. Frequência da alimentação e elaboração da dieta

Ter conhecimento sobre o que é fornecido como ração e com que frequência os animais são alimentados é de grande importância, uma vez que a dieta dos suínos não apenas afeta seu bem-estar como interfere na produtividade. Nos sistemas industriais, há um grande interesse na eficiência do ganho de peso dos animais. As industriais utilizam genética melhorada para a produção de carne magra e em rápido período de engorda apresentando baixo consumo de ração para que seja possível o ganho em escala. Nesse contexto, os animais são criados em sistemas confinados e recebem dietas a base de milho e de soja, na maior parte das vezes, a vontade, para que obtenham taxas de crescimento ao menos satisfatórias para os padrões industriais.

Embora a dimensão econômica seja imperativa para o funcionamento desses sistemas, há impactos significativos sobre o meio ambiente. Como exposto por Ito et al. (2016), a escolha dos ingredientes que serão utilizados na confecção da ração, o manejo de recursos e a eficiência na utilização dos nutrientes têm um papel crucial na redução dos impactos ambientais da produção suinícola, uma vez que a adoção de uma boa prática de alimentação animal promove o uso mais eficiente de recursos como água, terra, nutrientes e insumos agrícolas.

Além disso, a escolha desses ingredientes e a eficiência na conversão alimentar dos suínos promoverá uma redução da pegada ambiental por animal produzido e a minimização dos resíduos gerados visto que os animais alimentados neste sistema são rapidamente enviados para o abate. Neste contexto, quando as dietas são otimizadas e ajustadas às necessidades dos animais e não apenas aos aspectos econômicos da atividade, podem minimizar o desperdício de alimentos e por consequência a demanda por recursos como terra, água e energia no processo de produção.

A alimentação animal reflete, dessa forma, na emissão de gases de efeito estufa e em impactos sobre a biodiversidade de forma indireta, visto que nas práticas

adotadas na produção intensiva dos grãos, há uso de adubos químicos e agrotóxicos que afetam a biodiversidade tanto acima como abaixo do solo (Primavesi, 2002).

3.5.3. Manejo dos dejetos

A avaliação do manejo de dejetos suínos assume um papel de extrema importância, dado o potencial significativo de impactos ambientais associados a práticas inadequadas de manejo desse material (Leite; Ferraz, 2016). Estes dejetos, predominantemente compostos por fezes e urina, são ricos em nutrientes valiosos como nitrogênio e fósforo, além de conter uma alta carga de matéria orgânica. Quando negligenciados em termo de gerenciamento, esses dejetos podem causar uma série de problemas ambientais e de saúde pública. Com isso, a avaliação do manejo de dejetos se apresenta como um pilar fundamental na prevenção da poluição ambiental, evitando a contaminação do solo e da água, promovendo a qualidade ambiental da propriedade e seus arredores.

Em seu trabalho, Gerber (2013) destacou que, quando os nutrientes nitrogênio e fósforo presentes nos dejetos são carregados para os corpos hídricos, esses nutrientes podem desencadear o processo de eutrofização, afetando negativamente os ecossistemas aquáticos. Além disso, a avaliação do manejo dos dejetos desempenha um papel importante para a manutenção da qualidade do solo, uma vez que os nutrientes presentes nesse material podem impactar a composição física e química dos solos, prejudicando sua capacidade produtiva e sua estrutura biofísica. Além disso, essa avaliação é importante para mitigar a emissão de gases de efeito estufa, como o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Não menos importante é sua contribuição para a saúde das comunidades próximas e dos animais, pois esses dejetos podem abrigar patógenos que representam um risco à saúde, especialmente se contaminarem a fontes de água potável ou os alimentos cultivados (Morino, 2021).

Nesse contexto, é crucial reconhecer que a avaliação abrangente da alimentação e do manejo dos resíduos desempenha um papel central no estudo de sistemas de produção de suínos na busca de um setor agroindustrial mais sustentável. Não se pode subestimar a interconexão desses elementos no panorama geral da criação de suínos. Ao considerar todas essas áreas com elevado potencial de gerar impactos ambientais de forma integrada, é possível desenvolver abordagens mais holísticas e eficazes, capazes de promover sistemas de produção de suínos que sejam mais sustentáveis em todos os aspectos, minimizando seus impactos ambientais e maximizando seu potencial de benefícios para a sociedade e para a natureza.

4. METODOLOGIA

Este estudo adotou a metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) para abordar as questões desta pesquisa, uma ferramenta eficaz na identificação de impactos ambientais relacionados a processos produtivos, produtos ou serviços, conforme ressaltado por Cabral (2019). A ACV analisa e quantifica os aspectos ambientais ao longo do ciclo de vida de um processo ou produto, desde a extração da

matéria-prima até seu descarte, abrangendo as fases de produção, transporte, uso e fim de vida. Ao aplicar essa abordagem à criação de miniporcos, foi possível identificar de forma abrangente os principais impactos ambientais e gargalos no sistema de criação. Este entendimento permitiu a proposição de alternativas mais atrativas e sustentáveis, destacando, por exemplo, que otimizar a nutrição animal pode não apenas reduzir a pegada ambiental associada à alimentação, mas também melhorar a eficiência no uso de recursos naturais, como água e energia, contribuindo assim para práticas mais sustentáveis de criação.

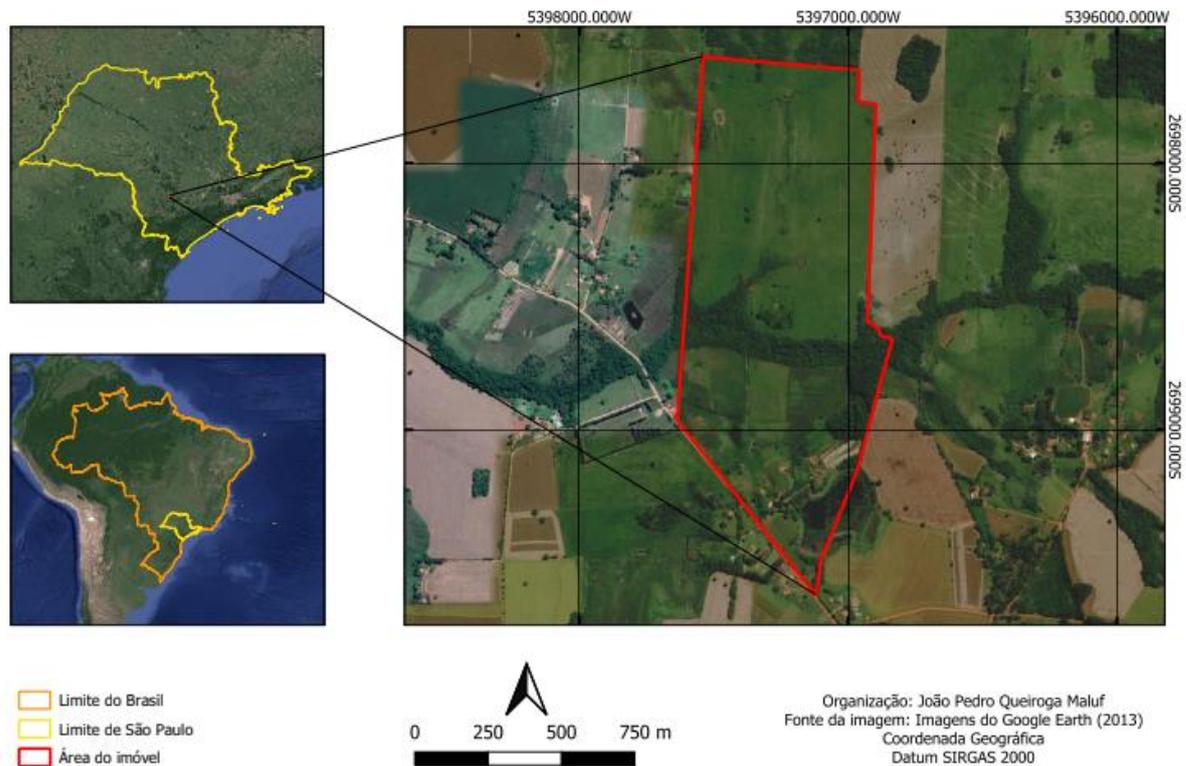
A metodologia empregada para atender aos objetivos específicos deste trabalho é apresentada seguindo uma ordem estabelecida. Inicialmente, são detalhadas as características da unidade de produção e do sistema produtivo. Em seguida, são delineadas as fronteiras do sistema investigado, a unidade funcional utilizada e a elaboração do inventário, proporcionando uma visão clara do escopo da pesquisa. A abordagem metodológica também inclui informações sobre o modelo utilizado na investigação e a interpretação dos resultados, com destaque para a análise dos impactos associados aos bancos de dados utilizados no software Simapro versão 9.5. Essa metodologia estruturada visa fornecer uma compreensão abrangente do processo de avaliação ambiental no contexto específico da criação de miniporcos.

Mesmo que este trabalho não tenha utilizado animais para experimentação, o estudo foi avaliado e aprovado pela Comissão de Ética no uso de Animais da CEUA/UFSCar, registrado sob protocolo nº 1578300823.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

A pesquisa foi realizada na Fazenda Três Marias, localizada no município de Campina do Monte Alegre, Sudoeste Paulista, estado de São Paulo (Figura 3). O município pertence à mesorregião de Itapetininga, localidade com a qual também faz divisa, juntamente com os municípios de Buri e Angatuba. A agropecuária é o principal pilar econômico do município, desempenhando atividades e funções estratégicas na geração de renda e na ocupação da maioria da mão de obra residente (Fernandes et al., 2023). A Fazenda Três Marias (Figura 3) apresenta área total de 95,66 hectares e seus agroecossistemas estão divididos da seguinte forma: Pastagem e manejo de gado bovino (50,65 ha), floresta de eucaliptos (1,70 ha), lago (3,30 ha), mata nativa (12,17 ha), área destinada a suinocultura (2.185 m²), 3 talhões para produção de milho (1° - 5,63 ha; 2° - 5,70 ha; 3° - 12,80 ha) e áreas destinadas a moradia, uso comum, criação de galinhas, horta, áreas de passagem, armazenamento ou sem uso definido (totalizando 3,49 ha).

O município está localizado nas proximidades do Rio Itapetininga e do Rio Paranapanema, fazendo parte dos biomas Cerrado e Mata Atlântica, com clima subtropical e temperatura média anual próxima de 20°C, na Bacia do Alto Paranapanema, de grande disponibilidade hídrica (IBGE, 2021). A Fazenda Três Marias ainda se encontra em uma região de ocorrência de latossolos vermelhos e gleissolos melânicos, de alto uso agrônômico (Fernandes et al., 2023).

Figura 3 - Localização da Fazenda Três Marias.**Mapa de localização Fazenda Três Marias**

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com a justificativa da necessidade de estabelecer uma criação de suínos de pequeno porte para experimentos de pesquisa e para atividades de ensino no Brasil, pesquisadores desenvolveram no país um projeto, no final do século passado, que deu início a seleção de suínos pelo tamanho, com o objetivo de estabelecer uma colônia de minipigs para serem usados em experimentação no país (Lainetti, 2018). O programa de desenvolvimento do minipig nacional (minipig br1) foi idealizado para produzir animais que, mesmo em idade adulta, fossem suficientemente pequenos para permitir sua utilização como animais de laboratório em pesquisas biomédicas e atividades de ensino (Mariano, 2003). A partir desta ideia, surgiu a empresa Minipig, Pesquisa e Desenvolvimento Ltda., empresa hospedada na Fazenda Três Marias e apresentada à comunidade científica brasileira em matéria da Revista Fapesp em 2006 (FAPESP, 2006).

Na fazenda, há instalações para todo o ciclo de produção dos miniporcos. Há baias individuais para matrizes que recebem reprodutores e permanecem nas baias para a concepção dos leitões. Há uma creche coletiva e depois disso um conjunto de baias que permitem a recria e a manutenção dos animais antes de envio das cobaias aos laboratórios do hospital Sírio Libanês, na cidade de São Paulo. Todos os reprodutores e matrizes passam por um rigoroso esquema de higienização. A seleção dos indivíduos que irão participar do acasalamento para a produção dos leitões é escolhida rigorosamente e os critérios principais utilizados na escolha são o tamanho

dos animais, o peso corporal, o teor de gordura, o tipo e cor da pelagem, características de aprumo e de protrusão mandibular.

De forma geral, os animais criados na Fazenda Três Marias possuem entre 15 e 20 quilos aos 6 a 7 meses de idade, tamanho estabelecido como padrão para serem enviados para os estudos clínicos, e peso entre 40 e 45 quilos aos 12 meses de idade. A fazenda também realiza a produção de milho para silagem para a alimentação desses animais. A fazenda também produz gado e milho em grãos, que são destinados ao mercado regional. No caso da produção dos miniporcos, o manejo de matrizes e cachações faz parte da rotina dos funcionários, que acompanham toda a gestação das matrizes, auxiliam na criação dos leitões, no descarte dos dejetos e no envio dos miniporcos para a pesquisa médica em São Paulo. O fluxo de entradas diz respeito, destacadamente, aos ingredientes utilizados na confecção da dieta dos animais além da energia elétrica e da água para a dessedentação dos animais e da limpeza do sistema de produção. As saídas do sistema estão relacionadas à comercialização de miniporcos com peso de aproximadamente 20 kg e com aproximadamente seis meses de idade.

Para uma melhor compreensão dos impactos gerados ao longo da produção destes animais, optou-se por uma análise do sistema produtivo dos miniporcos na Fazenda Três Marias, considerada como unidade funcional, e isso foi possível ao compartimentalizar os talhões da unidade de produção, subdividindo-a em diferentes agroecossistemas e assim analisando os impactos gerados em cada agroecossistema que fazia parte da produção dos miniporcos, mesmo que indiretamente, na produção de alimentos (silagem de milho). Os agroecossistemas da Fazenda Três Marias que não tinham nenhuma relação com as entradas de insumos para a produção dos miniporcos, não foram considerados nas análises de impactos ambientais deste estudo.

4.2. DELIMITAÇÃO DAS FRONTEIRAS DO SISTEMA PARA A ACV

No caso deste estudo, o objetivo da ACV foi analisar e identificar os principais impactos ambientais da criação de minipigs-br1 utilizados para ensino e pesquisas médicas em uma fazenda localizada no município de Campina do Monte Alegre - SP. Esse trabalho acompanhou e analisou as atividades desenvolvidas na Fazenda Três Marias visando a criação de minipigs durante um ano, utilizando as abordagens “cradle to farm gate” e “cradle to hospital gate”.

A fazenda Três Marias produz diferentes produtos agrícolas além dos miniporcos, como grãos de milho e produção de gado. Visto que o objetivo do trabalho foi verificar os impactos da produção dos miniporcos, o sistema de produção de gado e do milho para grãos não foram levados em consideração nas análises deste trabalho, apenas os impactos associados a produção dos miniporcos e por consequência os impactos relacionados a produção de silagem de milho que é servida como fonte de alimento para os miniporcos.

Como a fazenda possui diferentes sistemas de produção gerando produtos distintos e como os sistemas não possuem conexão nem uso de área compartilhada,

para a definição da unidade funcional, que é a base para realizar a análise da propriedade, foram feitas as seguintes considerações:

- a) Foi necessário considerar o consumo intermediário, ou seja, produtos que são utilizados como insumos para a elaboração de outros produtos e não necessariamente para a criação dos miniporcos, e considerar os fluxos internos de materiais e energia entre os agroecossistemas da propriedade.
- b) Os sistemas possuem objetivos múltiplos como obtenção de produtos para consumo interno, produção de produtos para comercialização, para a criação de animais bovinos destinados a comercialização e a criação de animais de pequeno porte (miniporcos) para a reposição do plantel.

Foram então considerados, para o cálculo da estimativa de impacto ambiental, um rebanho estável de minipigs-br1 composto por 57 fêmeas matrizes e dois cachos reprodutores. Esse rebanho de reprodutores foi responsável pela produção, entre janeiro e dezembro de 2022, de 400 miniporcos que foram comercializados para o hospital-escola Sírio-Libanês, localizado na cidade de São Paulo. Assim a unidade funcional adotada nesse trabalho foi a unidade de produção de minipigs da Fazenda Três Marias para o período de um ano de produção e que gerou como produto 400 miniporcos para a comercialização.

Nas análises, assumiu-se uma taxa de mortalidade ao nascimento de 5%, este valor foi adotado com base em dados empíricos, conforme entrevistas com os funcionários da fazenda. Além disso, foi assumido que cada matriz ficava no plantel durante três ciclos de produção, produzindo, a cada ano, 7 miniporcos saudáveis para a comercialização. Considerou-se, ainda, que uma taxa de reposição de matrizes ocorria anualmente segundo relatos dos funcionários da Fazenda Três Marias. Ao menos duas matrizes eram substituídas no plantel a cada ano.

Os impactos da produção do milho cultivado e destinado à produção de silagem, que era ofertada diariamente aos miniporcos, foram considerados neste estudo. Já o milho destinado à produção de grãos, que são armazenados e processados fora da propriedade, não fez parte das análises. Além disso, os agroecossistemas de pastagens destinados para a produção de gado da Fazenda Três Marias não fizeram parte das análises deste estudo.

Com isso, as fronteiras adotadas para a realização da ACV dos miniporcos consideraram os agroecossistemas utilizados na produção de milho para silagem e o local das instalações que hospedam os animais. Na modelagem realizada neste trabalho, utilizou-se como referência os impactos da construção de uma granja de produção de suínos de porte similar a área construída para a criação dos miniporcos da Fazenda Três Marias com um período de durabilidade de 50 anos (Anexo A). Além da silagem de milho, outros ingredientes foram adquiridos mensalmente em uma revenda localizada na área urbana de Campina do Monte Alegre, para a elaboração do concentrado oferecido aos miniporcos: milho em grão, farelo de soja, farelo de trigo, calcário e complexo mineral vitamínico.

Foram considerados os impactos da produção desses ingredientes a partir do uso do conjunto de dados disponível no banco de dadosecoinvent 9.3, que foi

atualizado no ano de 2023 e contém dados de impactos da produção desses ingredientes para o estado de São Paulo, o que permitiu estimar os impactos da elaboração da dieta na produção dos miniporcos considerando os impactos da produção regional dos ingredientes que faziam parte da dieta.

4.3. ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

Por meio de anotações em caderno de campo durante o acompanhamento das atividades dos funcionários da Fazenda, os dados da produção foram coletados mensalmente de forma detalhada, representando o ciclo de produção de um ano. As informações foram agrupadas para considerar todas as entradas de insumos entre janeiro e dezembro de 2022.

Com base nos dados de entrada de insumos nos diferentes processos produtivos, saídas de produtos (miniporcos e silagem de milho) e em dados disponíveis na literatura foi possível estimar as emissões para o meio ambiente de cada sistema avaliado. Todos os dados de entradas e saídas desses sistemas foram organizados em uma planilha Excel® o que permitiu formar um banco de dados que refletiu o fluxo de materiais e de energia que ocorre no sistema de produção dos minipigs-br1 e da produção de silagem para fornecer aos miniporcos criados na Fazenda Três Marias durante o período de um ano.

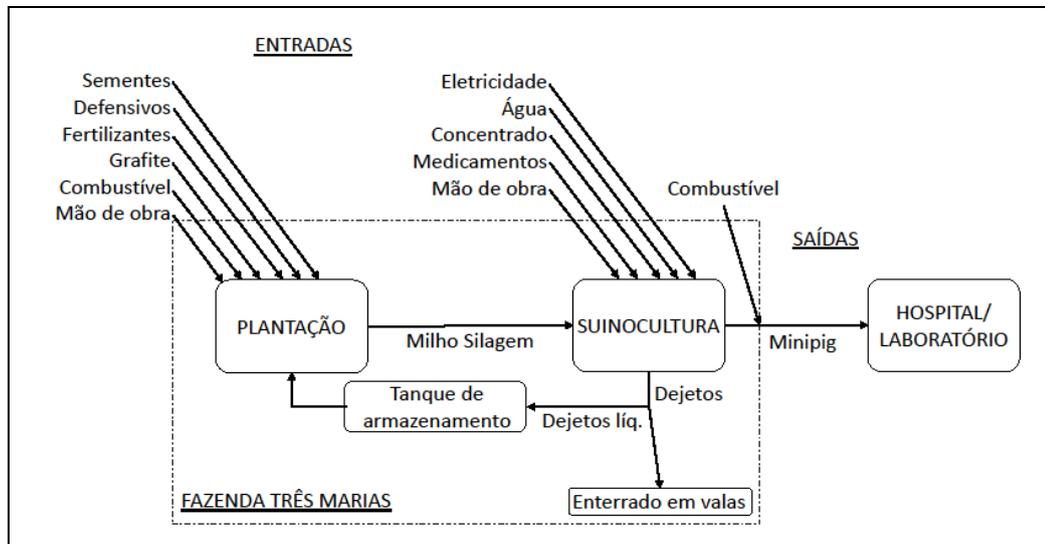
O Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é compreendido como um modelo de representação gráfica do sistema estudado, já que a sua construção depende dos processos e fluxos de entradas (input) e saídas (output) do sistema (Konzen et al., 2021). É nessa fase do trabalho que todos os recursos utilizados, assim como todas as emissões liberadas para o meio ambiente e seus subprodutos gerados no sistema são identificados e quantificados.

Esta etapa do trabalho resultou em uma longa lista de materiais, produtos, coprodutos, subprodutos e emissões para o ar, água e solo, e descreveu o balanço de materiais e de energia, ou o balanço ecológico do produto em análise. Os dados de emissões estimados nessa etapa foram utilizados para alimentar o modelo que estimou os impactos ambientais da produção do minipig-br1.

Além das estimativas de emissões para o ambiente, buscou-se identificar todo o sistema de produção e os materiais utilizados, para cada mês, além de mensurar o consumo de água por meio de um hidrômetro instalado na entrada do setor de produção dos miniporcos. Quando sistemas complexos e com muitas etapas são investigados, é possível dividi-los em subsistemas, construindo um fluxograma para cada subsistema individualmente, o que facilita a identificação de fluxos e materiais utilizados. Na elaboração do inventário, para permitir a análise deste estudo, todos os dados primários foram obtidos durante o acompanhamento das tarefas diárias executadas na Fazenda Três Marias, além de dados secundários, obtidos através da revisão de trabalhos e publicações acessíveis na literatura nacional e internacional de dados obtidos a partir de estimativas que utilizam tanto dados primários quanto a literatura, como apresentado na Figura 4.

Para facilitar a compreensão da complexidade do sistema, adotou-se, neste estudo, um fluxograma simplificado dos processos produtivos envolvidos na criação dos miniporcões e que pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Fronteiras do sistema produtivo de minipigs-br1 e principais fluxos de entradas e saídas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que fosse possível agrupar os dados e facilitar as análises, o sistema fazenda foi considerado, e foi constituído pelos subsistemas plantação (de milho para silagem) e as instalações da suinocultura.

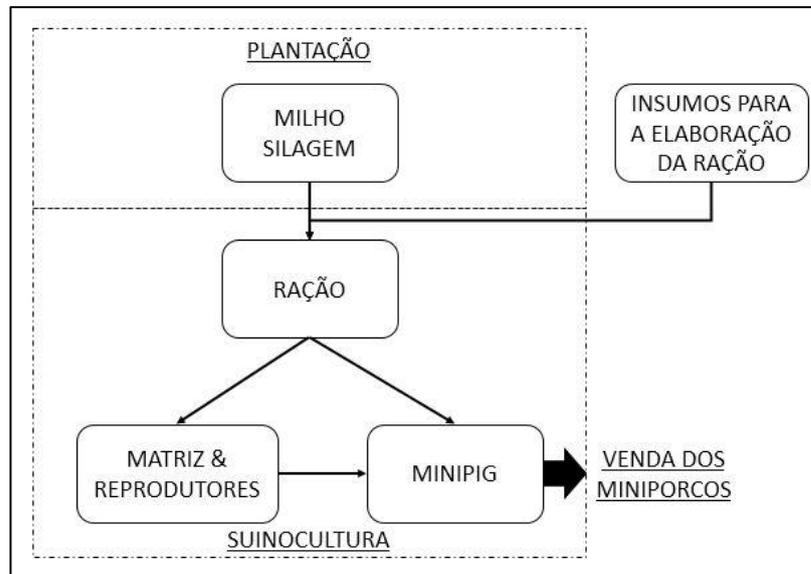
Analisando o sistema em geral denominado como “fazenda”, apresentado na Figura 4, foi possível identificar como entrada do sistema, as sementes e o grafite utilizados para facilitar a queda das sementes da plantadeira durante a etapa de plantio de milho, os agrotóxicos utilizados (fungicidas, herbicidas e pesticidas) e o fertilizante N-P-K utilizado na adubação da lavoura, assim como do N utilizado como adubo de cobertura do milho, a água utilizada para a dessedentação animal e na limpeza e manutenção das baias, a energia elétrica utilizada na fabricação da ração, visto que a elaboração do concentrado da ração é realizada todo mês internamente, na fazenda Três Marias.

Foram considerados, como saídas desse sistema, os 400 miniporcões que foram transportados e entregues para o Hospital Sírio-Libanês, além de uma parte das fezes geradas na criação dos suínos e que são enterrados em valas, não havendo o reaproveitamento desses resíduos. Além desses, não foram encontrados outros fluxos de saídas do sistema de produção devido ao fluxo interno da própria propriedade, onde os subprodutos gerados ao longo dos diferentes subsistemas produtivos são aproveitados em outros processos do mesmo subsistema ou em outro subsistema da Fazenda Três Marias.

Para realizar a avaliação do sistema de produção do minipig-br1, foram definidos subsistemas produtivos conforme seu processo produtivo. Os fluxos de materiais e energia do sistema de produção dos minipigs-br1 são ilustrados na Figura 5 para que seja possível compreender as fronteiras e avaliar os impactos ambientais

gerados em cada subsistema, para então identificar com mais precisão os gargalos da produção dos minipigs-br1.

Figura 5 - subsistemas e processos produtivos para a produção do minipig-br1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3.1. Plantação de milho para silagem

Segundo informações dos funcionários da Fazenda Três Marias, a produção de milho para silagem segue um processo constituído por 9 operações, e a sequência das operações pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Sequência de operações da produção de milho silagem.

Sequência das operações	Milho silagem
1º	Preparo do solo
2º	Preparo da semente
3º	Plantio
4º	Fertilização (N-P-K)
5º	Controle de plantas
6º	Controle de pragas
7º	Fertilização cobertura
8º	Colheita
9º	Compactação

Fonte: Elaborado pelo autor.

A produção de milho para silagem tem seu início com o preparo do solo dos talhões que foram cultivados, que basicamente consistiu na gradagem e nivelamento do terreno para facilitar as etapas seguintes e o desenvolvimento dos pés de milho. Em seguida, ocorre o preparo e a semeadura das sementes de milho em conjunto com a aplicação do fertilizante N-P-K durante a semeadura. Após essas etapas são aplicados agrotóxicos para realizar o controle de pragas e do mato, e uma adubação de cobertura com ureia. Em cada etapa, foram considerados os equipamentos e gasto de combustível com a realização da atividade.

Para a colheita do milho, é utilizado um implemento denominado tarupe, que vai acoplado ao trator e que, por arraste, vai colhendo, cortando e picando as plantas de milho e lançando-as em uma carreta, puxada pelo mesmo trator. Além disso, a operação da ensilagem conta com uma operação própria para a compactação do material para permitir o armazenamento da planta de milho picada, que é a compactação da silagem produzida. Há um outro trator para essa atividade, conduzido por um outro tratorista, que compacta as plantas de milho que foram previamente picadas num silo de superfície. Após a compactação do material ensilado e da vedação com lona adequada para o processo de fermentação anaeróbia, permite guardar o material de forma adequada. Após 1 mês a silagem pode ser aberta e tem início a retirada em partes que serão transportadas até as baias manualmente com um carrinho de mão, conforme a demanda diária para a alimentação animal. Os dados primários, como área cultivada, insumos utilizados, etapas envolvidas, produtividade por hectare, etc., foram coletados através de entrevistas com os funcionários e acompanhamento das atividades diárias da propriedade.

4.3.2. Ração

A elaboração do concentrado ofertado aos minipigs-br1 é realizada na própria propriedade, que conta com um silo metálico acoplado a um misturador simples para a mistura dos ingredientes da ração. Essa atividade é realizada uma vez por mês, em que os insumos adquiridos da revenda da cidade são trazidos em uma caminhonete até a Fazenda Três Marias por um de seus funcionários. A cada ligação do misturador, eram produzidos 500 Kg da parte concentrada da ração dos minipigs-br1. Ao identificar o consumo mensal médio de ração (concentrado + silagem), foi possível estimar os impactos associados à logística associada à compra desses insumos, que era realizada mensalmente. A formulação utilizada era a mesma para todas as categorias animais e o que alterava era o volume oferecido a cada animal. O concentrado era composto por milho moído, farelo de trigo, farelo de soja, um complexo mineral e vitamínico para suínos e uma pequena porção de calcário. A proporção de cada ingrediente do concentrado utilizado na alimentação dos minipigs-br1 é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Insumos da produção de ração.

Insumos	% na ração
Milho	80
Farelo de trigo	12
Farelo de soja	2,4
Complexo mineral/Vitamínico	4
Cal	1,6

Fonte: Autoria própria.

As emissões associadas a este processo foram calculadas diretamente no software Simapro® v 9.5 utilizando como entradas alguns processos já existentes na base de dados do programa ecoinvent 9.3 com dados atuais para a produção desses ingredientes para o Estado de São Paulo. A análise foi realizada considerando o volume da mistura produzida mensalmente na Fazenda Três Marias, de 500 Kg de concentrado por mês.

4.3.3. Suinocultura

A etapa compreendeu todos os processos envolvidos na criação dos miniporcoss jovens, e foi dividida em duas outras sub etapas distintas, sendo uma delas o manejo das matrizes, e a outra sub etapa identificada como a engorda e a manutenção dos jovens miniporcoss até envio dos animais para o Hospital Sírio-Libanês.

Para descrever a primeira sub etapa, o manejo das matrizes tinha seu início nos piquetes onde cada matriz era colocada em contato com o reprodutor para o acasalamento, sendo posteriormente transferida para uma baia de maternidade. Na baia de maternidade, a matriz prenhe passava cerca de 110 dias em período de gestação. Cada leitegada tinha uma média de 7 leitões/matriz.

Após a parição, a matriz passava aproximadamente 45 dias em contato com os leitões, antes deles serem separados (desmama). Após o desmame dos leitões, que eram agrupados em uma creche, a matriz era então encaminhada novamente aos piquetes onde passava os próximos 8 meses até iniciar o ciclo reprodutivo novamente. Tratava-se de um dos processos mais importantes para a manutenção do plantel de miniporcoss, pois o tamanho das matrizes influenciava no tamanho que os leitões iriam atingir e, assim, havia um controle rigoroso quanto ao tamanho e a idade das matrizes que permaneciam no plantel.

Na descrição da segunda sub etapa, a criação dos jovens miniporcoss tinha início na maternidade, após a desmama. Após a desmama os leitões eram mantidos em grupos em uma instalação denominada creche, durante 15 dias. Buscava-se, nessa etapa da criação, estabelecer um período de socialização e adaptação a nova dieta até serem levados para os piquetes onde eram mantidos por mais 6 meses em média. Nesta idade, os minipigs-br1 atingiam o tamanho ideal para serem enviados para o hospital em São Paulo. Durante este processo de criação dos minipigs-br1, havia um controle rigoroso quanto a taxa de crescimento dos animais, sendo que os animais eram alimentados uma vez por dia com uma porção de concentrado e uma porção de silagem de milho.

Durante o processo de criação dos miniporcoss, foi possível observar que alguns animais não sobrevivem até o momento da venda para o hospital. A taxa de mortalidade adotada para o sistema estudado foi de 5% do rebanho dos miniporcoss, e a destinação atribuída às carcaças foi a incineração.

4.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTOS

Com a elaboração do ICV, obteve-se uma lista de entradas e saídas para o período de um ano (janeiro a dezembro de 2022). Com isso, nessa fase, foram analisados os impactos ambientais associados às emissões para o meio ambiente e o uso de recursos presentes no sistema.

Para este trabalho, adotamos o método ReCiPe 2016 Midpoint (E) V1.08 / World (2010) E / Caracterização. Visto que nem todas as categorias de impacto analisadas nesta metodologia são interessantes para o objetivo deste estudo, foram selecionadas sete categorias de impacto, consideradas relevantes para a análise dos principais impactos ambientais associados a produção do minipig-br1.

A seleção das categorias de impacto para a análise de um Inventário de Ciclo de Vida (ICV) é uma etapa fundamental para a identificação das áreas mais críticas em termos de impacto ambiental. As categorias de impacto escolhidas abrangem uma variedade de impactos relevantes para o setor da suinocultura. Abaixo, são apresentadas as categorias de impacto utilizadas neste estudo:

- a) Aquecimento global: Esta categoria avalia as emissões de gases de efeito estufa (GEE) produzidas durante o ciclo de vida do produto ou processo investigado e está relacionado com o aumento da temperatura global. Giral-di-Díaz et al. (2021), ressaltam a importância de se estudar a emissão de GEE na suinocultura.
- b) Consumo de água: O consumo de água avalia a quantidade de água utilizada em todas as etapas da atividade de produção. Giral-di-Díaz et al. (2021) também tratam em seu trabalho sobre a crescente preocupação com a escassez e contaminação dos recursos hídricos e o papel da suinocultura nesse tema.
- c) Depleção de recursos fósseis: Tendo em vista a crescente necessidade de avaliar os impactos da dependência de recursos finitos, essa categoria aborda o uso de recursos não renováveis, como os combustíveis fósseis. Giusti et al (2022) ressaltam a importância dessa categoria em estudos de impacto ambiental da produção de alimentos.
- d) Ecotoxicidade da água e terrestre: Essas categorias avaliam o potencial impacto tóxico dos poluentes lançados na água e no solo. Em seu trabalho, Rosenbaum et al. (2008) ressaltam a importância de considerar os impactos da ecotoxicidade nos ambientes aquático e terrestre em estudos de ACV de produtos agropecuários.
- e) A eutrofização da água doce e da água marinha se referem ao enriquecimento de corpos de água com nutrientes, muitas vezes provenientes de resíduos agropecuários. Em seu trabalho, Andretta et al. (2021) analisam o potencial de eutrofização de água doce e marinha da suinocultura e a importância destas categorias de impacto ao estudar o ciclo de vida dessa atividade.
- f) Acidificação do solo: Essa categoria avalia o potencial de emissões que contribuem para a acidificação do solo. No estudo de Andretta et al. (2021), também é tratada a importância do estudo dessa categoria de impacto para a atividade.

As categorias foram selecionadas com base na relevância direta para a produção de suínos e nas implicações ambientais associadas. A avaliação dessas categorias permitirá uma compreensão mais abrangente dos impactos ambientais

para o ciclo de vida da produção do minipig-br1 e permitirá apoiar a tomada de decisões voltadas para a sustentabilidade e para a redução de impactos negativos de sua produção.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

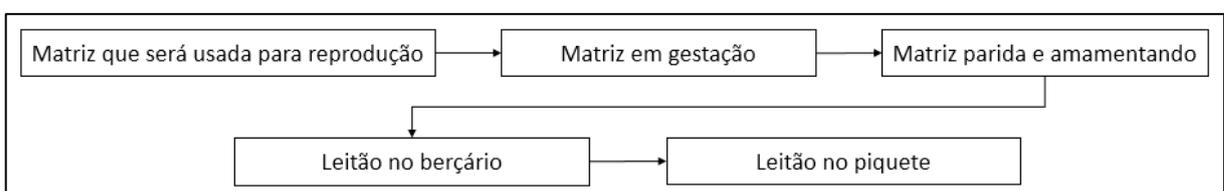
Neste tópico, são apresentados os resultados obtidos na ACV da criação dos miniporcões, que está organizado em três subtópicos que são: Inventário de Ciclo de Vida, Análise do Inventário de Ciclo de Vida e Análise dos Agroecossistemas. Essa seção foi estruturada para fornecer clareza e um caminho lógico para a apresentação e para a discussão dos resultados encontrados nesta pesquisa. O primeiro subtópico abrange a descrição e a análise detalhada do inventário elaborado para a criação de miniporcões, destacando as entradas e saídas que fazem parte do ciclo de vida. No segundo subtópico, são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a AICV para as diferentes categorias de impacto ambiental indicadas para este estudo. Por fim, o último subtópico tem como objetivo discutir o estado atual dos diferentes agroecossistemas envolvidos na criação dos miniporcões, explorando os impactos associados a estes espaços e discutindo sobre potenciais melhorias visando uma maior sustentabilidade para o sistema de produção investigado.

5.1. Inventário de Ciclo de Vida

Ao considerar que o estudo teve por objetivo analisar os impactos ambientais gerados pelo processo de criação dos minipigs-br1 até o seu envio para o Hospital Sírio-Libanês, neste item foram destacadas as etapas de manejo das matrizes e criação dos leitões. As características relacionadas ao processo de produção de silagem de milho não serão apresentadas de forma detalhada, tendo somente os impactos associados a esta atividade e alguns pontos específicos abordados ao longo dos tópicos seguintes.

Durante o processo de criação dos minipigs-br1, os insumos destinados a alimentação dos animais são os mesmos, tanto para as matrizes, quanto para os cachos reprodutores assim como para os leitões, sendo a única diferença entre as etapas de criação a quantidade da mistura oferecida, que dependia da categoria animal e da idade dos animais. Com isso, foi possível dividir o subsistema matriz em três fases distintas e o subsistema leitão em duas fases distintas. Estas fases variavam conforme a quantidade de alimentos consumidos e da taxa de crescimento dos animais, consequentemente gerando diferentes saídas de cada subsistema.

Figura 6 - Fases da criação do minipig-br1.

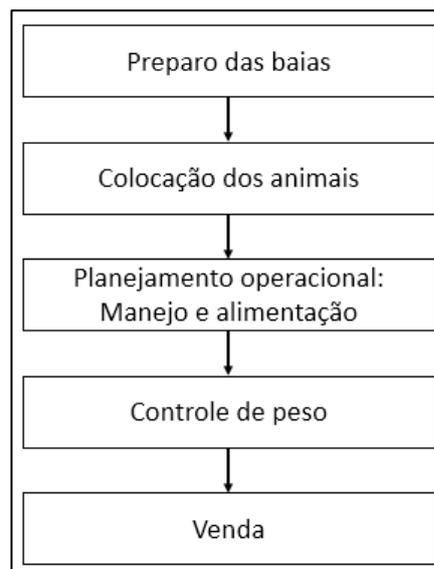


Fonte: Elaborado pelo autor.

A metodologia de ACV determina que, durante a fase de elaboração do inventário, deve-se construir um fluxograma das atividades envolvidas no sistema de produção em questão e, com isso, a Figura 7 descreve de forma agregada as atividades envolvidas nas fases de criação da produção dos minipigs-br1.

O fluxograma apresentado na Figura 8 foi elaborado de forma agregada. Dependendo do objetivo do estudo, cada etapa deste fluxograma pode ser desagregada, gerando, assim, um novo fluxograma que irá detalhar as etapas relevantes para a obtenção dos resultados para cada subsistema. Como o objetivo do estudo foi analisar o impacto geral produzido pelo sistema completo, considerando os dados agregados, e devido as atividades desenvolvidas serem bastante simples, este fluxograma pode ser perfeitamente usado para descrever o sistema de produção dos minipigs-br1.

Figura 7 - Fluxograma das fases de criação.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme ilustrado na Figura 8, a etapa de preparação das baias refere-se às atividades realizadas antes da colocação de um novo lote de leitões desmamados. Esta atividade consiste na lavagem da baia e revisão dos equipamentos (bebedouros), e é realizada a cada 3 ou 4 dias. Já a etapa de planejamento operacional refere-se as atividades realizadas diariamente, como alimentação do plantel, controle de doenças e retirada de dejetos sólidos. Com o fluxograma construído, determinou-se as entradas e saídas do sistema.

5.1.1. Entradas

5.1.1.1. Ração

O consumo de ração foi estimado com base nas observações realizadas durante o acompanhamento das atividades na propriedade e por meio de entrevistas com os funcionários. A Tabela 3 descreve o consumo de ração (concentrado) para cada categoria animal nas diferentes fases de criação.

Tabela 3 – Consumo de ração (concentrado) por animal.

ração/animal	
Piquete	
Cachaço	1 kg/d
Matriz	1 kg/d
Minipig	0,5 kg/d
Maternidade	
Matriz	1 kg/d
Matriz + minipig	1,5 kg/d
Minipig	0,25 kg/d

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.1.2 Silagem

A Tabela 4 descreve o consumo de silagem por dia para cada categoria animal nas diferentes fases de criação.

Tabela 4 – Consumo de silagem por categoria animal.

silagem/animal	
Piquete	
Cachaço	1 kg/d
Matriz	1 kg/d
Minipig	1 kg/d
Maternidade	
Matriz	1 kg/d
Matriz + minipig	1 kg/d
Minipig	0,5 kg/d

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nas informações apresentadas na Tabela 4 e no tempo médio de duração de cada fase de criação dos miniporcões, determinou-se o consumo total de silagem de milho por categoria animal. Para a criação de um minipig-br1 neste sistema, (6 meses) o consumo de silagem de milho é de 189,50 kg, enquanto a quantidade para o manejo de uma matriz é de 280,98 kg por ciclo de um ano de produção.

5.1.1.3 Água

O consumo de água diário foi estabelecido de acordo com a literatura disponibilizada pela Fundação de Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA) em 2014. Para calcular o consumo total de água utilizou-se as equações 1 e 2 visando calcular o consumo total de água para a criação de um minipig-br1 e para o manejo de uma matriz.

$$\mathbf{C \text{ total } \acute{a}gua = C_l * 195 + C_{m+1} * FC2 * 45} \quad (1)$$

$$\mathbf{C \text{ total } \acute{a}gua = C_m * 250 + C_{m+1} * FC1 * 45} \quad (2)$$

Para estimar o consumo de água, considerou-se o consumo médio de um leitão na creche sendo de 2,5 L/animal/dia e os demais consumos de 8,3 L/animal/dia, para os fatores de correção FC1 e FC2 utilizou-se respectivamente 0,6885 e 0,0445, os fatores de correção foram estimados com base nas características dos animais da propriedade (massa corporal, ganho de peso, dieta...) e em parâmetros disponíveis pela literatura da FATMA. As demais variáveis presentes na equação representam o consumo médio diário de água por um leitão (C_i), o consumo médio diário de água por uma matriz (C_m) e o consumo médio diário de água de uma matriz mais sua ninhada de leitões (C_{m+}).

A partir destes cálculos obteve-se que o consumo de água para a criação de 1 leitão é de 504,12 L (seis meses) e o consumo para o manejo de 1 matriz é de 2332,15 L por ciclo de um ano de produção.

5.1.1.4. Eletricidade

Obteve-se o consumo de energia elétrica junto a distribuidora de energia local. Seu consumo se dá quase em sua totalidade no processo de fabricação da ração e na casa dos funcionários da propriedade. Com base nas especificações do maquinário utilizado pelo misturador da ração, estimou-se o consumo para a produção de 500 kg de ração, que equivale a 230 kWh. Esse consumo é semanal. Segundo dados dos funcionários da Fazenda, foi considerado que 70% do consumo de energia mensal é atribuído ao misturados da dieta dos minipigs-br1.

5.1.1.5. Combustível

O consumo de combustível se divide em gasolina, utilizada para realizar as entregas de leitões no hospital, e óleo diesel, utilizado no trator, durante a produção de cultivo e realização da manutenção da propriedade. Com isso, considerou-se o consumo mensal de aproximadamente 60 litros por mês de óleo diesel na manutenção das atividades do sistema produtivo e foi utilizado como um dado de background durante a produção da silagem de milho.

5.1.1.6. Mão de obra

Foi realizada uma estimativa de quantas horas por dia os funcionários se dedicam unicamente a suinocultura. Estes dados foram obtidos por meio do acompanhamento do dia a dia dos funcionários e nas entrevistas com os responsáveis pelas atividades de produção dos miniporcões na fazenda Três Marias.

5.1.1.7. Medicamentos

Outra entrada ao sistema são os medicamentos, como antibióticos, vermífugos e vacinas. Ao analisar o sistema de produção, identificou-se a entrada de Fostera gold pcv, terramicina, Triatox, Ivomec (ivermectina) e Agita (10 WG). Porém, apesar de ter conhecimento destas entradas, somente a ivermectina pode ser considerada devido à falta de pesquisas realizadas no sentido de quantificar o impacto gerado pelos demais medicamentos. O Ivomec é aplicado nas matrizes em gestação

cerca de uma semana antes do parto e em leitões, cerca de uma semana antes de serem enviados para o hospital, em ambas as situações são aplicadas doses de 1 ml/animal. Visto que não foi possível obter informações a respeito dos impactos ambientais desses medicamentos e pelo baixo volume de produto utilizado, esses insumos não foram incorporados ao inventário.

5.1.2. Saídas

5.1.2.1. Dejetos

Durante o acompanhamento das atividades de produção e depois de conversas com os funcionários da propriedade, foi possível assumir um volume de saída de dejetos igual ao volume de entrada de água no sistema, assim, para a criação de 1 leitão foi estimada a produção de 504,12 L de dejetos e para o manejo de 1 matriz foi estimada a produção de 2332,15 L de dejetos. Do total de dejetos produzidos na propriedade, aproximadamente a metade é distribuída nos talhões onde há a produção de milho, a parte líquida. Já a outra metade, a parte sólida, é enterrada em valas e esse último processo ocorre uma vez por mês.

A Tabela 5 ilustra as emissões para o ar (CH₄ e N₂O) estimadas para o rebanho da Fazenda Três Marias, para o período de um ano, a partir dos dados apresentados pelo IPCC (2019) para o manejo dos resíduos e estimados para cada categoria animal e para o período de um ano de produção.

Tabela 5 - Emissões para o ar (CH₄ e N₂O) atribuídas ao Manejo de Dejetos (MD) e à Fermentação Entérica, assumindo que os animais foram criados em um ambiente tropical úmido e quente do Brasil e em um sistema de produção de baixa intensidade, conforme definido pelo IPCC (2019).

Clima tropical quente e úmido										CH ₄		N ₂ O	
Emissão diária	Nº	Peso (entrada) kg	Peso (saída) kg	Peso (médio)	Período d	CH ₄ de excreção fecal	VS	Nex	Fermentação entérica	MD armazenado	MD CH ₄	MD armazenado	N ₂ O direto
1%	400	4	6	5	15	0,00274	0,024	0,002	16,44	0,00	75,3091	0,00	0,1014
Dejetos sólidos	400	6	30	18	140	0,00274	0,086	0,008	153,42	2,51	226,3	0,68	5,676
5%	57	70	70	70	224	0,00274	0,336	0,030	35,08	2,23	201,2	0,61	5,047
Dejetos líquidos	57	75	75	75	101	0,00274	0,36	0,032	15,86	0,00	1089,665	0,00	1,4666
79%	57	65	65	65	41	0,00274	0,312	0,028	6,49	0,00	386,3358	0,00	0,52
Armazenamento									227,28	4,74	1978,77	1,29	12,81
0,47%													

Fonte: Elaborado por Gustavo F. Almeida com apoio de Ariadna Ballega e Miquel Andon do IRTA – Torre Marimon, Espanha, 2023.

5.2. ANÁLISE DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA

Com a definição das entradas e saídas do sistema, dos fluxos internos de materiais e de energia e dos processos que foram analisados, completou-se a fase de ICV. Com um inventário robusto, ilustrando o sistema de produção do minipig-br1, partiu-se para a fase de AICV, onde os dados do inventário foram organizados e agregados em categorias de impacto já definidas. Em seguida, os impactos foram quantificados através de fatores de equivalência especificados na literatura para cada uma das categorias investigadas e os resultados podem ser observados na Tabela 6. Com isso, foi possível obter valores padronizados para que fosse possível realizar uma leitura e compreensão dos impactos mais facilmente. Nesse estudo, os fatores de equivalência utilizados foram aqueles definidos pelo método ReCiPe 2016. Uma vez que nem todas as categorias de impacto estudadas nessa metodologia são interessantes para esse estudo, optou-se por focar a discussão deste trabalho nas sete categorias apresentadas anteriormente (Aquecimento global, consumo de água, depleção de recursos fósseis, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade terrestre, eutrofização de água doce e acidificação terrestre).

Tabela 6 - Cálculo de impactos da produção do minipig-br1 para cada categoria de impacto analisada, para todo o sistema de produção em um ano de atividade.

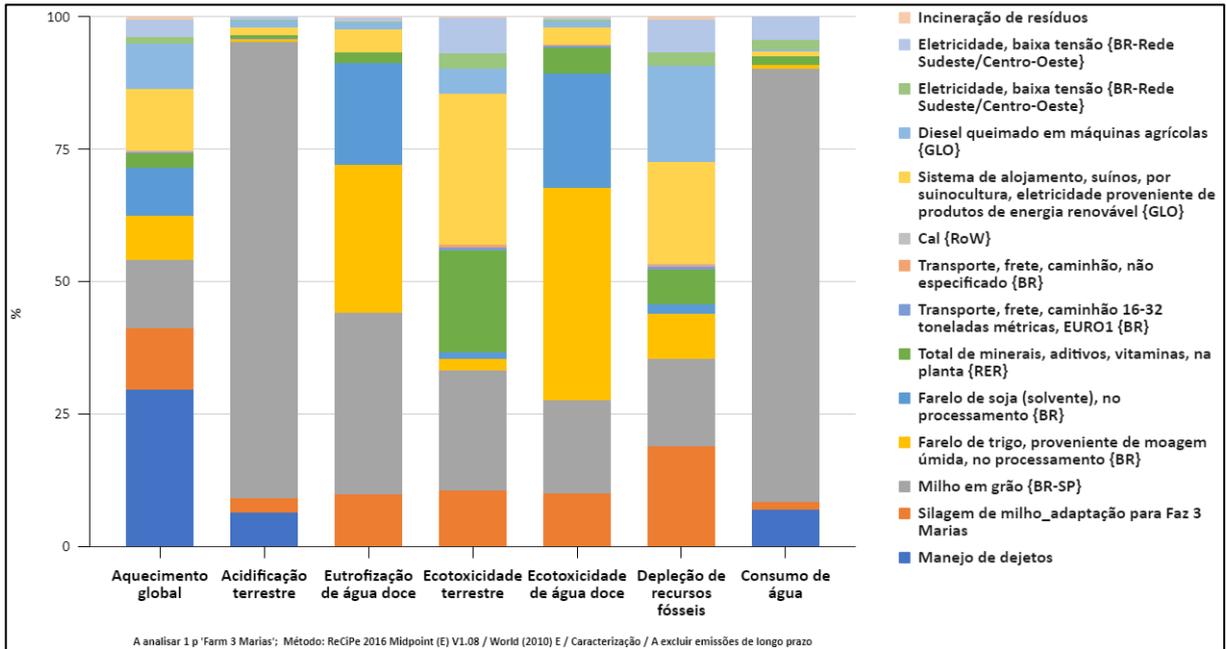
Categoria de impacto	Total	Unidade
Aquecimento global	40.265,60	kg CO2 eq
Consumo de água	4.869,49	m ³
Depleção de recursos fósseis	5.755,44	kg oil eq
Ecotoxicidade de água doce	755,82	kg 1,4-DCB
Ecotoxicidade terrestre	295.653,07	kg 1,4-DCB
Eutrofização de água doce	5,28	kg P eq
Acidificação terrestre	1.286,76	kg SO2 eq

Fonte: Elaborado pelos autores.

Ao analisar os dados apresentados na Tabela 6, foi possível observar os impactos ambientais totais gerados com a criação do plantel de minipigs-br1 da Fazenda Três Marias durante os meses de janeiro a dezembro de 2022.

Outro resultado a ser observado e analisado é o gráfico obtido pelo software Simapro® utilizado para realizar o estudo do IACV. A Figura 9 apresenta ilustra o percentual de participação de cada item presente no processo de criação dos minipigs-br1 para cada uma das categorias de impacto ambiental analisadas.

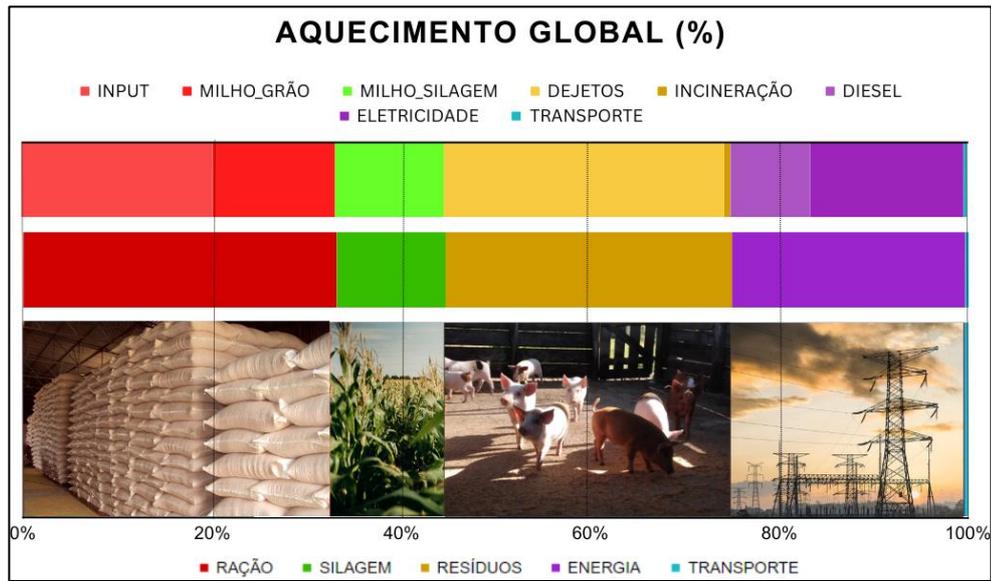
Figura 8 – Gráfico de percentual de contribuição para cada categoria de impacto.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir dos resultados obtidos no software Simapro® v9.5

Ao analisar de forma conjunta os dados apresentados pela Tabela 6 e na Figura 9, é possível observar que para a criação dos minipigs-br1 durante o ano de produção de 2022, o impacto de Aquecimento Global apresentou uma emissão de gases de efeito estufa da ordem de 40.265,601 kg CO₂ eq, onde 33,17% dessas emissões foram associadas a aquisição de insumos para a elaboração da ração para os animais (sendo 12,96% referente ao grão de milho e 20,21% aos outros insumos utilizados), 11,49% estão associadas a produção de silagem de milho que ocorreu na propriedade, 24,66% estão associadas a consumo de energia (8,46% devido ao consumo de diesel e 16,20% consumo de eletricidade), 30,3% foram associadas a atividades de criação (29,66% devido ao manejo de dejetos e 0,64% a incineração de carcaças) e apenas 0,37% devido a atividades de transporte.

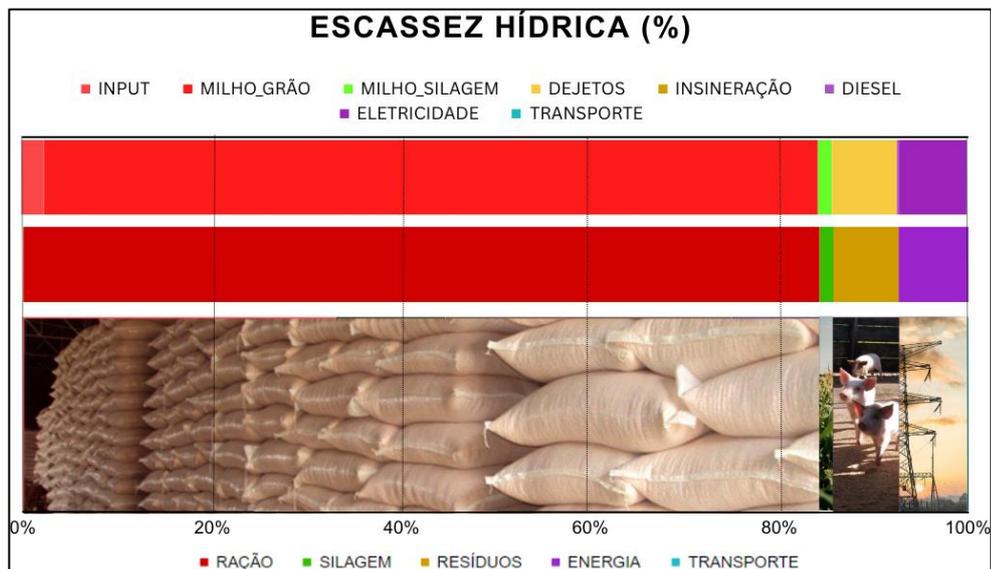
Figura 9 – Apresentação esquemática da contribuição para os impactos associados ao Aquecimento Global (kg Eq. CO₂) na produção dos minipigs-br1.



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisar a categoria de impacto Escassez Hídrica (Figura 10), observou-se um consumo de 4.869,49 m³ de água durante um ano de criação do rebanho de minipigs-br1, onde a maior parte do consumo está relacionada aos insumos utilizados para produção de alimentos aos animais. Cerca de 84,23% do consumo total de água (sendo a 81,84% do consumo referente ao grão de milho e 2,39% devido aos outros insumos), ainda há 1,46% associado a produção de silagem, 7,36% associado ao consumo de energia (sendo 7,16% devido a eletricidade e 0,20% ao diesel), 6,89% associado a atividades de criação (6,87% devido ao manejo de dejetos e 0,02% a incineração de resíduos) e apenas 0,06% devido a atividades de transporte. Na Figura abaixo, é possível observar o percentual de contribuição de cada área para o impacto Escassez Hídrica.

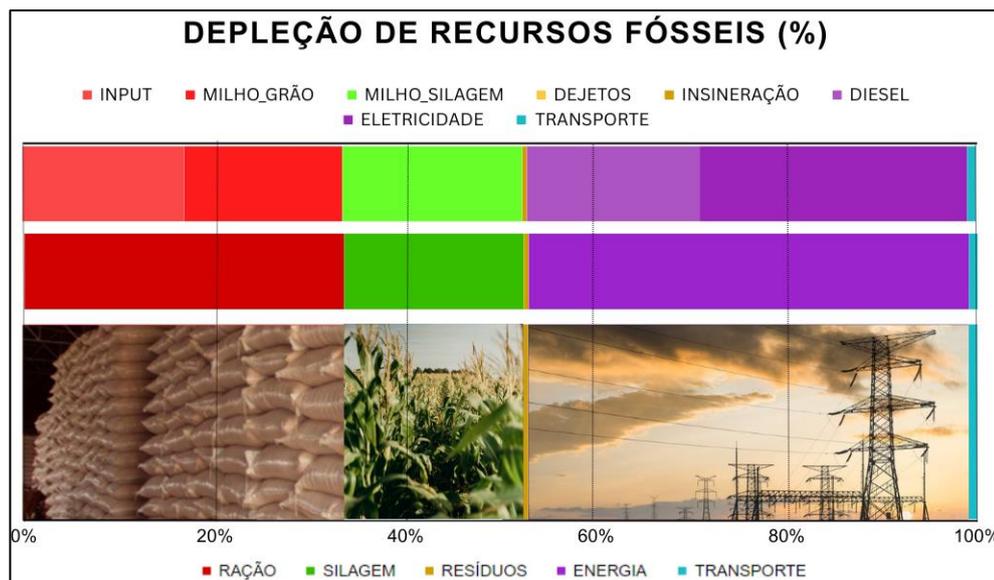
Figura 10 – Apresentação esquemática da contribuição para os impactos associados a Escassez Hídrica (m³) na produção dos minipigs-br1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a categoria de impacto Depleção de Recursos Fósseis (Figura 11), há um consumo de 5.755,44 kg oil eq., que se concentra principalmente em algumas etapas da criação dos minipigs-br1. O principal contribuinte é o consumo de energia elétrica, com 46,19% do total (sendo 18,10% devido ao consumo de diesel e 28,09% devido ao consumo de eletricidade), ainda temos 33,55% associado aos insumos utilizados para ração (16,60% devido ao grão de milho e 16,95% devido aos outros insumos), 18,85% associado a produção de silagem, 0,91% associado a atividades de transporte e 0,5% associado a atividades de criação, o manejo de dejetos não apresentou qualquer contribuição para essa categoria.

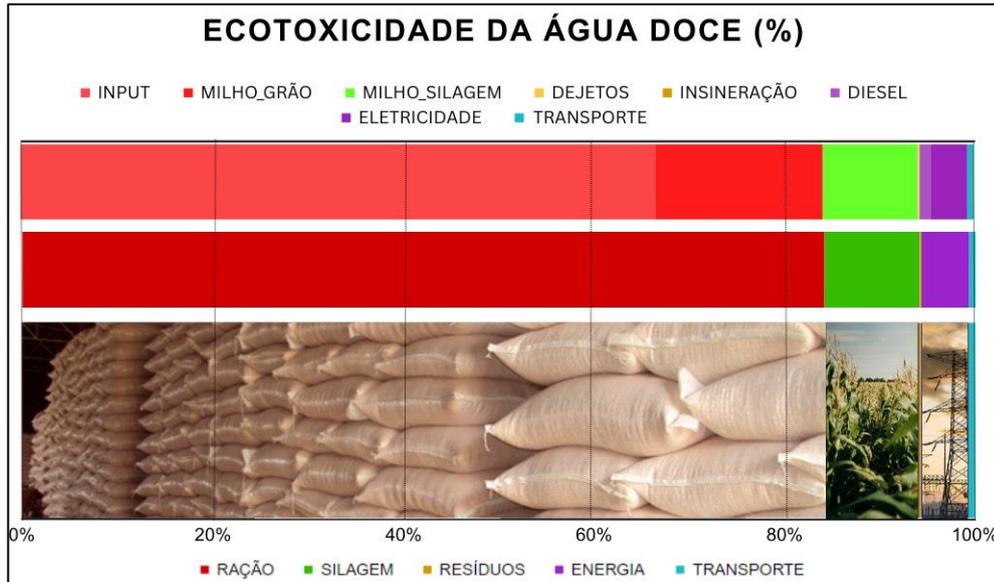
Figura 11 – Apresentação esquemática da contribuição para os impactos associados a Depleção de Recursos Fósseis (kg Eq. OIL) na produção dos minipigs-br1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A categoria de impacto ambiental Ecotoxicidade de Água Doce (Figura 12) apresenta um cenário de emissões bastante peculiar. O valor obtido para todo o sistema de produção durante o período de um ano foi de 755,82 kg 1,4-DCB e cerca de 84,13% dessas emissões estão associadas aos insumos utilizados para a produção de ração (40,03% associado ao farelo de trigo, 21,70% ao farelo de soja, 17,58% ao milho e os 4,82% restantes associados ao complexo vitamínico e ao cal). A produção de silagem contribuiu com aproximadamente 10% das emissões e é seguida pelo consumo de eletricidade, diesel, transporte e incineração de resíduos, que contribuem com respectivamente 3,90%, 1,12%, 0,68% e 0,17%.

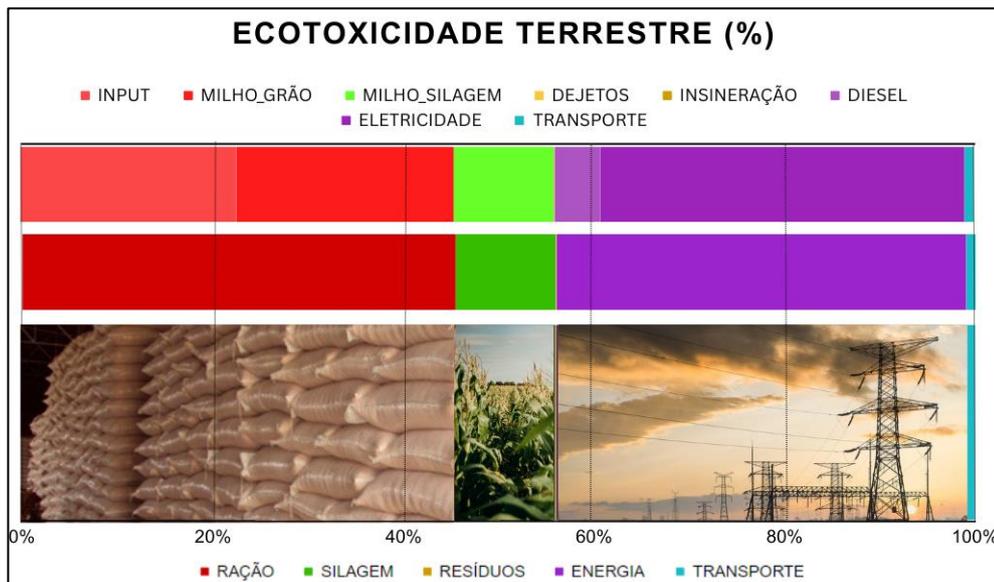
Figura 12 – Apresentação esquemática da contribuição para os impactos associados a Ecotoxicidade da Água Doce (kg 1,4-DCB) na produção dos minipigs-br1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A categoria de Ecotoxicidade Terrestre (Figura 13) é a categoria que apresenta o maior valor de impacto ambiental, com 295.653,07 kg 1,4-DCB. Desse total, 45,45% referem-se aos insumos utilizados na elaboração da ração (22,80% devido ao milho e 22,64% devido os outros componentes), ainda há 42,97% devido ao consumo de energia (38,18 % devido a eletricidade e 4,79% devido ao diesel), 10,49% devido a produção de silagem, 0,98% devido ao transporte e 0,11% devido a incineração de carcaças. Na

Figura 13 - Apresentação esquemática da contribuição para os impactos associados a Ecotoxicidade Terrestre (kg 1,4-DCB) na produção dos minipigs-br1.

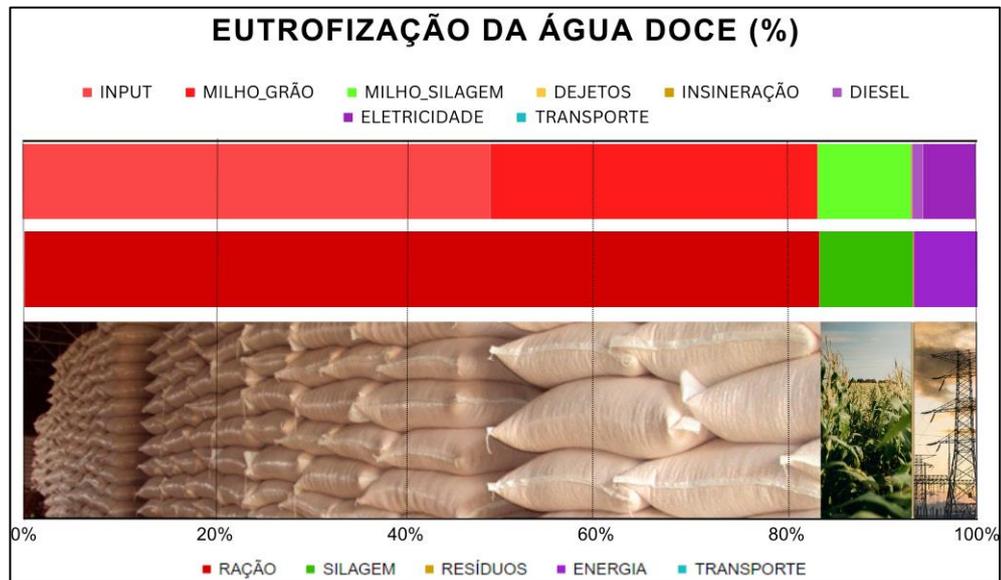


Fonte: Elaborado pelo autor.

A categoria de impacto de Eutrofização de Água Doce (Figura 14) é a categoria que apresenta o menor impacto ambiental entre as categorias estudadas, com a emissão de 5,28 kg P eq. A produção de ração representa a maior parte dessas emissões,

83,40% (sendo 34,33% associado ao milho, 27,91% ao farelo de trigo, 19,32% ao farelo de soja, 1,83% aos complementos vitamínicos e minerais e 0,01 ao cal), seguida pela produção de silagem com 9,79%, o consumo de energia com 6,65% (com 5,52% associado a eletricidade e 1,3% ao diesel), 0,11% da incineração das carcaças e 0,04% associado ao transporte.

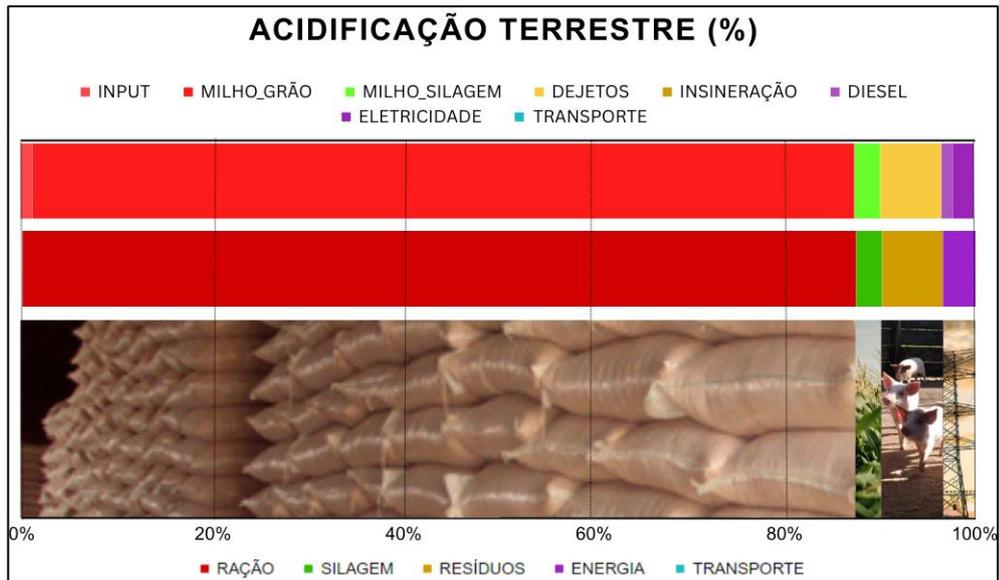
Figura 14 - Apresentação esquemática da contribuição para os impactos associados a Eutrofização de Água Doce (kg P Eq.) na produção dos minipigs-br1.



Fonte: Autoria própria.

Ao analisarmos a categoria ambiental Acidificação Terrestre (Figura 15), observou-se uma emissão de 1.286,76 kg SO₂ eq., sendo que as emissões são majoritariamente atribuídas a um único item, com cerca de 86,18% das emissões associadas ao grão de milho utilizado para ração. Em seguida, as atividades de criação correspondem a 6,38% dos impactos gerados (sendo 6,36% devido ao manejo de dejetos e 0,02% a incineração). Ainda há o consumo de energia com 3,41% as emissões (2,16% devido a eletricidade e 1,25% ao diesel), a produção de silagem de milho com 2,73% e o transporte com 0,03% das emissões. Na Figura 16 é possível observar o percentual de contribuição de cada área para o impacto Acidificação Terrestre.

Figura 15 - Apresentação esquemática da contribuição para os impactos associados a Acidificação Terrestre (kg SO₂ Eq.) na produção dos minipigs-br1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os resultados apresentados nas figuras dessa subseção, foi possível notar que a maioria dos impactos identificados estavam associados a entrada de insumos na propriedade, aos impactos indiretos, sobretudo aqueles utilizados para elaborar a ração servida para os animais, que contribuem com a maior parte dos impactos gerados no sistema estudado. Mesmo que as outras áreas tenham uma participação relativamente menor, há uma contribuição relevante da produção de silagem, do manejo dos dejetos e do consumo de energia (diesel e eletricidade), impactos diretos da produção.

5.3. ANÁLISE DOS AGROECOSSISTEMAS

Neste subtópico, buscou-se realizar uma análise mais detalhada dos diferentes agroecossistemas envolvidos na criação dos miniporcos. O objetivo foi compreender o estado atual desses agroecossistemas, avaliar os impactos ambientais associados a estes espaços e trazer à discussão a possibilidade de aplicação de medidas mitigadoras para minimizar esses impactos.

5.3.1. Talhões de milho

Os talhões de milho são espaços destinados somente à produção de milho, ano após ano, tanto o que será utilizado para a produção de silagem, consumido internamente na alimentação dos miniporcos, quanto o que será utilizado para produção de grãos e que serão comercializados para compradores da região, fora da fronteira da propriedade. Após analisar as práticas de manejo desses agroecossistemas e os insumos neles utilizados, uma questão principal foi levantada e que diz respeito à fertilidade do solo desses espaços. Embora os três talhões utilizados na produção de milho possuam o mesmo plano de manejo e que cada um possui suas próprias características em termos de fertilidade do solo e relevo, optou-

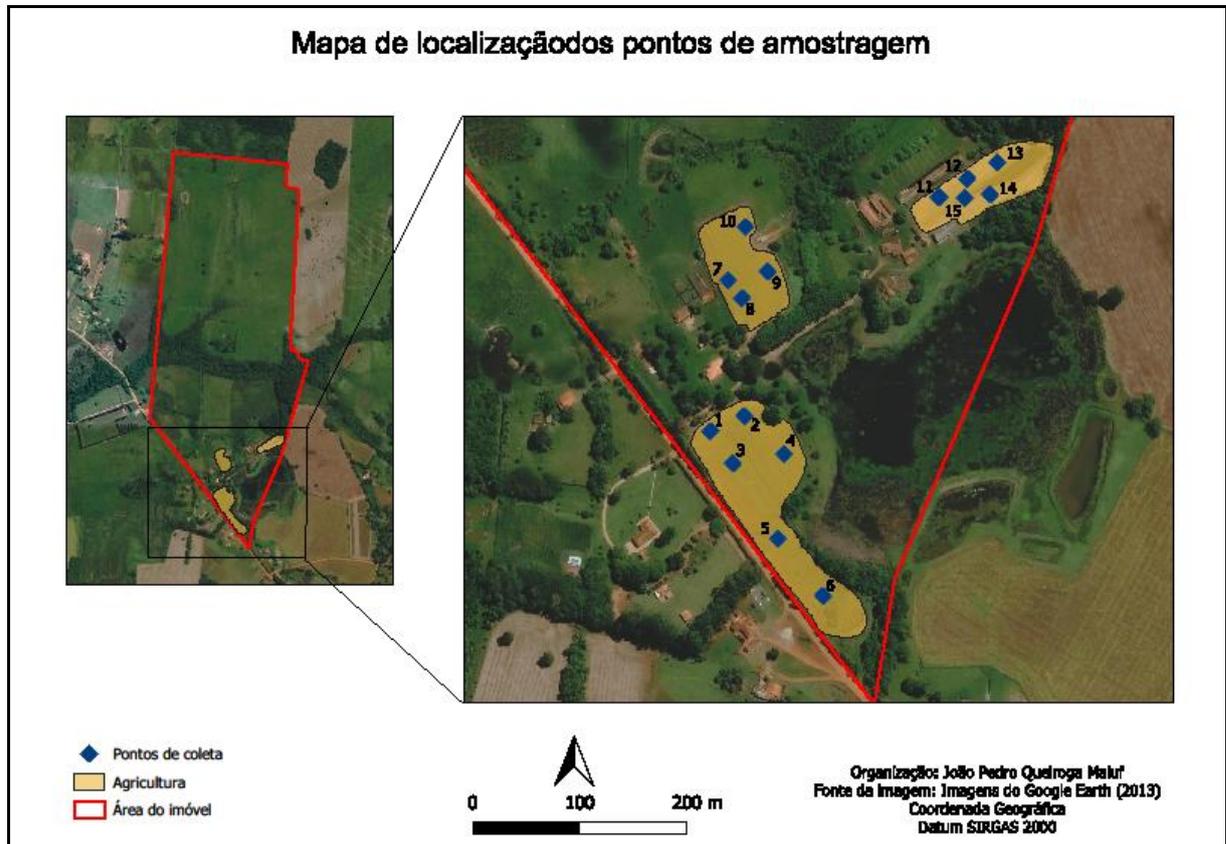
se por analisá-los separadamente em um diagnóstico. Outro ponto que vale ser destacado é que, nestes agroecossistemas, há um histórico de uso de fertilizantes sintéticos (N-P-K) em estratégias de produção de milho em sistema convencional e da aplicação de dejetos líquidos dos suínos em descarte, sem haver prévio tratamento desses resíduos, nem aplicação com a função de fertilizar as lavouras de milho.

A aplicação dos dejetos ocorre da seguinte forma: os dejetos na forma líquida ficam armazenados em três tanques de depósito, localizados próximos a área da maternidade e dos piquetes dos minipigs. O material é levado por gravidade até atingir os três tanques conhecidos como chorumeiras e que armazenam os resíduos em adição da água da limpeza das baias e dos piquetes. A água das chuvas também ocupa o volume das chorumeiras, que não são cobertas. Quando esses tanques ficam cheios dessa mistura entre água e resíduos da produção dos suínos, o que ocorre aproximadamente duas vezes ao ano conforme informações dos funcionários da Fazenda, esse material líquido é coletado com auxílio de uma esterqueira com capacidade para 2000 litros, que é puxada por um trator, e que distribui os dejetos nos agroecossistemas utilizados para a produção de milho. Nessa atividade, destaca-se uma problemática, que é a composição do resíduo que entra na chorumeira. O resíduo é armazenado nos três tanques por um certo período, onde há a decantação dos componentes e há variação no conteúdo da água pois não há separação de água das chuvas. Os resíduos mais pesados migram, por gravidade, para o fundo dos tanques, resultando em um material heterogêneo. Com o bombeamento dos dejetos para dentro da chorumeira, a fração líquida dos resíduos é aplicada com apoio dessa chorumeira enquanto a parte sólida, presente no fundo dos tanques, é retirado e aplicado com auxílio de um implemento denominado calcareadeira, também puxado por um trator e distribuídos nas áreas de produção de milho.

A fim de analisar a fertilidade dos solos dos agroecossistemas utilizados para a produção de milho e verificar a condição de fertilidade desses sistemas, amostragens compostas do solo dos três talhões (agroecossistemas) foram coletadas e enviadas ao laboratório de solos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz para avaliação completa da fertilidade dessas amostras. Foram coletadas amostras compostas nos três agroecossistemas, sendo o talhão 1 (entrada) composto pelos pontos 1 a 6, talhão 2 (mangueira) composto pelos pontos 7 a 10 e talhão 3 (chiqueiro) composto pelos pontos 11 a 15. Na Figura 17 é possível visualizar os pontos de coleta utilizados nos talhões para formar as amostras de solos enviadas para o laboratório, apenas na camada arável (0-20 cm). Na mesma perspectiva do diagnóstico dos agroecossistemas, de buscar conhecer o potencial da fertilidade dos seus solos, buscou-se conhecer o teor de nutrientes do esterco líquido distribuído nesses agroecossistemas para que seja possível, em algum momento, elaborar uma recomendação de adubação e que promova uma melhoria na reciclagem dos nutrientes presentes no esterco líquido até então descartado nesses agroecossistemas. Para a coleta do material líquido, com o auxílio de uma vara de madeira, amostras dos diferentes tanques foram coletados após misturar a parte líquida com auxílio dessa vara de madeira e depois uma amostra composta foi

coletada em um balde e separada, armazenada em um recipiente vedado e enviado ao mesmo laboratório em Piracicaba.

Figura 16 - Pontos de coleta de amostra de solo.



Fonte: Autoria própria.

Com base nos resultados de fertilidade dos solos obtidos nas análises laboratoriais conforme apresentado na Tabela 7, foi possível verificar que há necessidade de correção da acidez dos solos dos 3 talhões e do desequilíbrio das bases (macronutrientes Ca, K e Mg), já que a condição encontrada prejudica a capacidade produtiva da produção de milho para silagem e para grãos.

Tabela 7 - Análise de solo dos talhões da propriedade.

Determinação	Talhão		
	1	2	3
Cálcio (mmolc.dm ⁻³)	27,8	30,5	25,2
Magnésio (mmolc.dm ⁻³)	10,3	15,2	13
Alumínio (mmolc.dm ⁻³)	7,3	1,8	6,4
H + Al (mmolc.dm ⁻³)	58,5	45,5	58,5
SB (mmolc.dm ⁻³)	39	47,7	38,9
CTC (mmolc.dm ⁻³)	97,5	93,1	97,4
V (%)	40	51	40
m (%)	16	4	14

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da interpretação do resultado das análises químicas, verificou-se a necessidade de calagem com volumes que variam de 3 a 4 toneladas por hectare para os três agroecossistemas utilizados no cultivo de milho na Fazenda Três Marias. Além disso, a partir da interpretação da análise química dos solos, identificou-se a possibilidade de elaboração de uma recomendação de adubação para o caso da produção de milho, mas também pretendeu-se apresentar uma opção de redesenho do sistema de produção, pela substituição da silagem de milho pela silagem de capim elefante, ou de cana de açúcar, com menor potencial de emissões quando comparado a silagem de milho. Na perspectiva de planejar uma melhor reciclagem dos nutrientes da produção dos miniporcos, foram incluídos dados do resultado da análise química dos nutrientes presentes no chorume para que seja possível refletir, em um momento futuro, sobre seu uso como fertilizante biológico na Fazenda Três Marias. Tal abordagem teria a função de mitigar efeitos da distribuição do chorume como forma de descarte desse material, como tem ocorrido no manejo dos dejetos da produção dos minipigs-br1, e conseqüente promover o esgotamento dos tanques de coleta dos resíduos da limpeza das baias e piquetes de produção dos animais.

Tabela 8 - Composição química do resíduo armazenado nas chorumeiras.

Determinação	Amostra
Matéria orgânica (g/L)	51,8
Nitrogênio (g/L)	5,32
Fósforo (g/L)	2,17
Potássio (g/L)	2,6
Calcário (g/L)	3,09

Fonte: Elaborado pelo autor.

Refletindo sobre os passos necessários para um assessoramento aos produtores, primeiramente, seria necessário realizar a correção da acidez dos solos. Neste caso, a necessidade de calagem recomendada é de 4,18 t/ha para o talhão da entrada, 4,50 t/ha para o talhão da mangueira e 4,18 t/ha para o talhão do chiqueiro. O calcário indicado é o calcário dolomítico e que apresente um grau de pureza (PRNT) de próximo de 70%. As recomendações para a fertilização das culturas poderão ser elaboradas em momento futuro, a partir da leitura crítica por parte dos proprietários e conforme decisão sobre a manutenção ou redesenho do sistema de produção.

Embora uma recomendação técnica para a produção de milho em alta produtividade pode ser facilmente obtida a partir de uma consulta a um(a) Engenheiro(a) agrônomo(a), a substituição do todo ou de uma parte do milho por uma planta capineira pode reduzir os impactos ambientais associados a redução na utilização de adubos sintéticos, destacadamente os principais contribuintes de impactos ambientais na produção de ingredientes utilizados na confecção de dietas para animais.

Neste contexto, e pensando ainda em um novo desenho produtivo para os agroecossistemas utilizados na produção de alimentos para os miniporcos, a escolha

de outras espécies de plantas para serem utilizadas como fontes de volumoso para a alimentação dos animais na forma de silagem ganha relevância ao buscar a mitigação das emissões. Atualmente, na propriedade, assim como em muitas outras atividades de produção animal espalhadas pelo Brasil, o milho é amplamente utilizado para a produção de silagem. Segundo Carvalho et al. (2011), isso se deve ao fato de ser um cultivo difundido por todo o território nacional, possuir uma ampla variedade de empresas ofertando pacotes tecnológicos para sua produção, ser de fácil cultivo já que depende de implementos normalmente da posse de agricultores e vizinhos, e fornecer boa qualidade e quantidade de silagem. Além disso, o milho está profundamente enraizado em muitas culturas regionais espalhadas pelo país, e influencia muito na opção por seu cultivo, como é o caso da produção em Campina do Monte Alegre.

Mesmo que a silagem de milho pareça ser uma opção atraente à primeira vista, é importante considerar os prós e contras do seu uso e compará-lo com outros cultivares, como o sorgo, a cana-de-açúcar, e espécies de capineiras que tem recebido cada vez mais atenção para a produção de silagem.

A Embrapa Milho e Sorgo (2015) relata que o sorgo é uma espécie que apresenta altas taxas fotossintéticas e se adapta bem a uma ampla variação de ambientes, produzindo bem sob condições de baixa fertilidade de solos. O sorgo também possui um bom valor nutritivo e uma grande capacidade de produção de matéria seca, além de um sistema radicular profundo e que favorece a reciclagem de nutrientes, o que auxilia no desenvolvimento de culturas subsequentes em agroecossistemas que utilizam a rotação de culturas (Mello et al., 2004).

Mesmo que o milho e o sorgo pareçam boas alternativas devido à sua alta taxa de produção de biomassa e de bons teores nutricionais, é importante lembrar que as necessidades nutricionais dos miniporcos, animais monogástricos, são diferentes das necessidades dos animais ruminantes. Nesse contexto, a silagem não exerce um papel fundamental como elemento nutritivo aos miniporcos, mas tem importância como um componente relevante para o bem-estar animal e saciedade visto que o foco da criação não é produzir animais pesados. Além disso, é crucial considerar que essas são culturas colhidas apenas uma vez por ano, o que gera uma maior necessidade de horas de maquinário agrícola operando e consumindo insumos poluentes para produzir essas safras.

Diferentemente do cenário do milho e do sorgo, existem cultivares de cana-de-açúcar e de capineiras, como o capim elefante, mais especificamente o capim-elefante BRS Capiçu, uma variedade melhorada de capim Napier, que pode ser colhida várias vezes ao longo de um ou mais anos e apresentam excelentes taxas de produção de matéria seca (MS) com menor exigência nutricional em comparação ao milho (Soares, 2022).

Para Rodrigues (2018), uma outra opção para produção de silagem é o capim Mombaça, uma espécie de *Panicum maximum* que oferece boa qualidade nutricional e ótimo crescimento, propagando-se facilmente por sementes e possuindo potencial de rebrota. O autor destaca ainda que por se tratar de uma gramínea com alto valor nutritivo, é bastante exigente em relação à fertilidade do solo.

Mello (2004) ressalta, em seu trabalho, a vantagem das espécies capineiras em relação ao milho, devido ao fato de que esses cultivares permitirem a obtenção de bons volumes de MS duas a três vezes ao ano. O autor também destaca o alto potencial, principalmente da cana-de-açúcar e do capim elefante, para produzir MS quando o objetivo é a elaboração de silagem.

Na Tabela 9, é possível observar a variação na produtividade média das plantas forrageiras analisadas para o processo de ensilagem, enquanto a Tabela 10 apresenta alguns parâmetros bromatológicos dessas forrageiras.

Tabela 9 – Produtividade das forrageiras por hectare.

FORAGEIRAS	Produção de Matéria Seca (t/ha)
Milho	10 a 16
Sorgo	11 a 18
Braquiária	20,3 a 33,5
Capim Mombaça	25 a 80
Capim elefante	20 a 50
Cana-de-açúcar	30 a 150

Fonte: adaptado de Mello (2004).

Tabela 10 - Parâmetros nutricionais das forrageiras.

FORAGEIRAS	MS (%)	PB (%)	FND (%)	NDT (%)
Milho	30~35	6~8	45~60	65~75
Sorgo	28~32	5~7	50~65	55~65
Braquiária	18~24	4~6	65~75	50~55
Capim Mombaça	18~26	4~9	65~75	55~60
Capim elefante	20~28	6~11	70~75	50~60
Cana-de-açúcar	24~30	2~4	50~65	50~60

Fonte: adaptado de Mello (2004).

Mello (2004) ainda indicou que os custos da produção de cana-de-açúcar e de outras espécies de capineiras tendem a ser menores do que os da produção de milho e sorgo devido aos custos de produção de milho e sorgo, o milho sendo mais exigente em termos de fertilização, é mais caro para se produzir, uma vez que essas são espécies anuais e altamente dependente de nutrientes, destacadamente do nitrogênio.

Em estudo realizado no Vale do Paraíba em São Paulo, avaliando diferentes fontes de plantas forrageiras utilizadas na produção de alimento volumoso para vacas de leite em sistema semi-intensivo, Giusti e Almeida (2019) identificaram que a silagem de cana de açúcar apresentou pegada ambiental inferior à silagem de milho e ao fornecimento de volumoso por meio de pastoreio em área com brachiária decumbens adubada. Os autores justificaram essa diferença tanto por fatores diretos (menor uso de fertilizantes na adubação da cana de açúcar), como fatores indiretos (preparo de solo é necessário a cada ano em que houver plantio de milho para silagem e é apenas

necessário a cada quatro ou cinco anos no caso da cana de açúcar ou das capineiras comerciais.

Com base nos dados apresentados, é possível constatar que existem diversas culturas forrageiras que podem substituir o milho na produção de silagem.

5.3.2. Área destinada a suinocultura

A área destinada à suinocultura compreende os piquetes de cria dos minipigs-br1, matrizes e cachaços, a maternidade, os tanques de dejetos e a área de armazenagem e produção da ração animal. Esse espaço concentra a maioria das atividades relacionadas à criação dos minipigs-br1, envolvendo atividades de manejo, nutrição animal e gestão dos dejetos.

Entre as atividades desenvolvidas nesse espaço, é possível destacar uma como sendo a principal e mais problemática promotora de impactos ambientais, que é a área onde há os tanques para realizar o manejo dos dejetos dos animais.

Atualmente, a propriedade possui um sistema pouco eficiente de esgotamento sanitário, de tratamento e de disposição dos resíduos dos suínos. Enquanto os dejetos sólidos são enterrados em valas, sem tratamento, os resíduos líquidos são coletados por canaletas e, em alguns trechos, por canos, sendo encaminhados para três tanques ao ar livre e sem cobertura cuja função é armazenar o resíduo da lavagem das baias e áreas de criação para então decantar os sólidos presentes nessa mistura enquanto os funcionários aguardam o momento de enchimento dos tanques para a coleta e distribuição da parte líquida nos solos dos três agroecossistemas previamente indicados.

Ao observar o sistema de coleta de resíduos líquidos, é possível notar pontos de vazamento e desconexão dos canos utilizados, além do assoreamento das calhas e do canal de distribuição para os tanques. Esse problema ocorre principalmente devido à entrada de material particulado, solo e palha no sistema, além de identificarmos piquetes desconectados do sistema de coleta de efluentes líquidos.

Com o objetivo de melhorar a condição da coleta e tratamento da parte líquida, o primeiro aspecto que deve ser tratado é a coleta desses resíduos. Atualmente, a coleta dos resíduos começa com a lavagem dos piquetes, onde os dejetos são carregados para fora dos piquetes e despejados em uma canaleta que direciona os resíduos para os tanques de armazenamento. No entanto, assim que a canaleta alcança o último piquete em direção às baias de maternidade, os dejetos são canalizados. Mais adiante, ainda na área das baias de maternidade, os resíduos são lançados novamente em uma vala, que também recebe os efluentes das baias de maternidade. Após esse pequeno trecho de vala, os efluentes voltam a ser canalizados e finalmente são direcionados aos tanques de armazenamento.

É importante destacar que, tanto os tanques quanto o canal de distribuição e as valas não possuem qualquer proteção contra a água das chuvas e de ventos, estando muito suscetíveis ao carregamento de material sólido e água aumentando o volume dos tanques de recepção dos resíduos, o que acaba afetando a eficiência do

sistema e que contribui para a contaminação de recursos importantes, como a água e os solos.

Figura 17 – Coleta de resíduos na área de criação de minipigs-br1 com destaque para o tanque de dejetos.



Fonte: Adaptado de Foto de Gustavo F Almeida.

Na Figura 18, a linha em laranja identifica o caminho percorrido pelos dejetos em sua fase líquida até atingirem, por gravidade, os tanques de armazenagem. Nessa imagem, é possível perceber que os piquetes localizados na parte superior direita da imagem ainda não estão ligados ao sistema, lançando o efluente in natura para o solo. Para minimizar a entrada de água da chuva e material sólido de fora dos piquetes, uma solução seria fechar a parte superior da vala, mantendo uma fresta voltada para os piquetes, ou introduzir ralos em cada piquete, para que seja possível a entrada dos resíduos, e conectar os piquetes faltantes ao sistema de coleta.

Na perspectiva de sugerir um sistema de tratamento dos resíduos líquidos, são propostos dois modelos de biorreatores, sendo o primeiro modelo um Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB, sigla em inglês) e o segundo, um modelo um Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC). Os dados utilizados para seu dimensionamento podem ser observados abaixo e levaram em consideração as dimensões dos tanques já existentes e do volume de resíduos gerados anualmente na atividade.

Para o dimensionamento do reator e do biodigestor, foram levados em consideração a concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO), a concentração de Sólidos Solúveis (SS) e a vazão média de efluentes dos chiqueiros.

Tabela 11 - Dimensionamento do biodigestor.

Dados de projeto de dimensionamento	Reator/Biodigestor	
	UASB	BLC
Vazão média	0,093 m ³ /h	
Concentração de DQO	25,54 kgDQO/m ³	
Concentração de SS	50,3 kgSS/m ³	
Reator		
Tempo de detenção hidráulica	22 h	539 h
Volume	2,04 m ³	50,11 m ³
Eficiência de remoção de DQO	73,41 %	68,38 %
Eficiência de remoção de SS	79,92 %	

Fonte: Autoria própria.

Os dados de eficiência de remoção de DQO para ambos os reatores e de remoção de SS para o reator UASB foram obtidos através de equações elaboradas a partir de dados resultantes da compilação de informações disponíveis na internet. Não foram encontrados dados suficientes que permitissem avaliar a remoção de SS por Biodigestores de Lagoa Coberta para estimar sua equação empírica.

Ambos os biorreatores foram projetados para serem instalados no local onde estão situados os tanques de dejetos (ver Figura 18), visando utilizar a infraestrutura já existente no local e reduzir os custos com a implantação sem alterar a infraestrutura existente.

Também foram estimadas a produção de biogás e metano pelos reatores e o potencial de geração de energia elétrica. Estes dados podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12 - Dimensionamento do biodigestor.

	UASB			BLC		
	mês mais frio	média	mês mais quente	mês mais frio	média	mês mais quente
Produção de biogás (m ³ /d)	17,08	17,26	18,08	15,56	15,72	16,47
Produção de metano (m ³ /d)	11,96	12,08	12,66	10,82	11,01	11,53
Potencial disponível (kW)	491,73	496,82	520,56	447,9	452,54	474,16
Energia disponível (kWh)	20,49	20,70	21,69	18,66	18,86	19,76

Fonte: Autoria própria.

A produção de biogás e gás metano foram estimadas com base no trabalho de Campos (1999), já o potencial disponível e a energia disponível foram estimados com base no trabalho de Medeiros e Parz (2015).

Tendo em vista que o consumo médio diário de energia da propriedade é de aproximadamente 34 kWh, ambos os reatores possuem potencial para suprir parte considerável da demanda de energia da propriedade.

O reator UASB foi dimensionado para ser instalado ocupando o espaço de um dos tanques de recepção dos dejetos, enquanto o BLC irá demandar uma área maior, e não pode aproveitar de forma eficiente os tanques já existentes, requerendo maior investimento financeiro e esforço para sua instalação, enquanto o biodigestor UASB aparenta, por uma perceptiva de custos de materiais e mão de obra, ser a melhor alternativa para o caso da produção de minipigs-br1 na Fazenda Três Marias.

Desenhos dos modelos dos biodigestores e do sistema de pré-tratamento para o reator UASB podem ser observados nos apêndices deste trabalho. O Apêndice A retrata o BLC dimensionado para a propriedade e o Apêndice B retrata o reator UASB dimensionado e seu sistema de pré-tratamento.

Analisando a importância de planejar um melhor tratamento para os resíduos sólidos, seus impactos podem ser tão profundos quanto os dos resíduos líquidos, caso não gerenciados corretamente. Atualmente, esses resíduos são dispostos em valas próximas a uma área de preservação permanente (APP) e podem causar impactos de maior relevância ao solo onde são depositados, bem como nos corpos hídricos presentes nas suas proximidades.

Figura 18 – Valas de deposição dos dejetos sólidos.



Fonte: Autoria própria.

Segundo dados da Embrapa Suínos e Aves (2016), os dejetos suínos são ricos em nutrientes, principalmente em nitrogênio (N), tornando-se um valioso recurso para a fertilização de solos agrícolas. No entanto, esse uso dos dejetos como fertilizante não pode ser realizado de qualquer forma, sendo necessário processá-los primeiro para que seu uso seja seguro e eficiente. Visto isso, a compostagem é um método eficiente para realizar esse processamento dos dejetos em fase sólida.

A compostagem é um processo biológico que transforma os dejetos em um material rico em nutrientes e estável, conhecido como composto. Este método é uma alternativa bastante eficaz porque, segundo a Embrapa Suínos e Aves (2016), durante o seu processo, há a redução significativa das quantidades de resíduos, facilitando o seu armazenamento e manuseio, além de contribuir para a eliminação da maioria dos organismos patogênicos e plantas daninhas. O processo de compostagem torna o composto seguro para o uso agrícola. Além disso, uma compostagem bem gerida contribui para a redução significativa das emissões de poluentes e odores no ambiente. Com o aumento na procura por compostos para uso como fontes de adubação de lavouras produzidas em sistemas orgânicos, planejar uma área de compostagem para a Fazenda Três Marias pode promover a melhoria ambiental do manejo desses resíduos assim como se tornar mais uma fonte de renda para a Fazenda.

No entanto, são necessárias algumas ressalvas em relação ao uso do esterco sólido na elaboração de composteiras. Este é um sistema que demanda um espaço considerável para sua implementação e manuseio, além de exigir investimentos em qualificação dos funcionários e equipamentos adequados que garantam um bom gerenciamento da compostagem, evitando a emissão de gases de efeito estufa e protegendo os colaboradores.

5.3.3. Lago

Mesmo que a lagoa não faça parte diretamente dos agroecossistemas considerados na criação dos minipigs-br1 na Fazenda Três Marias, ela ainda é uma parte importante para a manutenção dos diferentes agroecossistemas da propriedade e das outras propriedades localizadas em suas fronteiras.

Atualmente, a lagoa se encontra bastante impactada, com o nível da água diminuindo progressivamente. Segundo conversas com os proprietários da Fazenda Três Marias, funcionários e pessoas que frequentam o local, antigamente a lagoa ficava sempre cheia de água e de vida aquática, sendo que na época das chuvas era comum a lagoa inundar seu entorno e se conectar com o córrego Ribeirão do Barreiro, que corta a propriedade.

Figura 19 – Vista aérea da lagoa da fazenda.



Fonte: Foto de Gustavo F Almeida

Na Figura 20, é possível observar, ao fundo, a Fazenda Três Marias e da lagoa, que se encontrava, ao final da fase de coleta de dados deste trabalho, em grande parte seca, com exceção da parte central e mais profunda da lagoa, juntamente com algumas áreas que aparentam ter sido escavadas na margem da propriedade vizinha o que indica uma situação potencial de conflito pelo uso da água.

No que diz respeito ao que pode estar causando o rebaixamento do nível da lagoa, existem duas explicações possíveis que provavelmente se somaram para criar esse cenário. A primeira é a mudança no ciclo das chuvas e a alteração do microclima da região. A segunda explicação, que pode ter agravado a situação, é a retirada de água da lagoa para irrigação da plantação nas propriedades vizinhas.

6. CONCLUSÃO

Com base na análise desenvolvida ao longo deste trabalho, foi possível chegar a algumas conclusões, destacar outros pontos que ainda exigem aprofundamento da pesquisa e identificar novas discussões que podem surgir a partir da análise detalhada de cada classe de impacto e das propostas de melhoria apresentadas.

A partir da análise do Inventário de Ciclo de Vida e dos dados de impactos ambientais obtidos por meio do software Simapro, foi possível concluir que, mesmo que a criação de minipigs-br1 apresente diferenças significativas em relação à suinocultura convencional, as problemáticas ambientais são bastante parecidas, especialmente quando se trata dos impactos causados pela alimentação e pelo manejo dos resíduos. Nesse contexto, a produção dos insumos utilizados na elaboração da ração dos mini suínos foi identificada como a principal fonte de impactos ambientais do sistema de produção estudado.

Ao considerar os aspectos e impactos ambientais que ocorrem diretamente na propriedade, ou seja, que não são "importados" de fora do sistema, como no caso dos insumos utilizados na elaboração fração concentrada da dieta, e que podem ser abordados por meio de projetos internos à propriedade para mitigação, é evidente a

crescente disponibilidade de métodos e tecnologias alternativas para o gerenciamento dos resíduos. Essas abordagens visam principalmente à transformação dos resíduos em novos produtos que podem ser utilizados para a geração de energia e a fertilização do solo, como é o caso dos biorreatores.

Além disso, há um esforço na promoção e desenvolvimento de novos desenhos produtivos para o cultivo de culturas alternativas que sejam menos impactantes para o meio ambiente e que se adaptem melhor às necessidades dos agroecossistemas da Fazenda Três Marias. Essas iniciativas visam reduzir os impactos ambientais na produção de alimentos para os miniporcos, alinhando-se a princípios de sustentabilidade na produção agropecuária.

No entanto, é importante ressaltar que a busca por práticas mais sustentáveis na suinocultura, incluindo a criação de miniporcos, é um processo contínuo e dinâmico. À medida que novas tecnologias e abordagens ambientalmente amigáveis surgirem, é essencial que haja uma contínua pesquisa, desenvolvimento e implementação dessas práticas para mitigar os impactos ambientais e promover a sustentabilidade no setor. Portanto, o campo da suinocultura, incluindo a criação de miniporcos, continuará a evoluir e se adaptar para atender aos desafios e necessidades para a redução dos impactos ambientais da atividade.

7. REFERÊNCIAS

ANDRETTA, Ines *et al.* Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: insights from a systematic review. **Frontiers in Veterinary Science**, [S. L.], v. 8, n. 1, p. 1-14, out. 2021.

ANTUNES, Joseani M. EMBRAPA trigo. **Silagem para suprir a escassez de pasto**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34247153/silagem-para-suprir-a-escassez-de-pasto#:~:text=A%20silagem%20pode%20ser%20feita,%2C%20trigo%2C%20centeio%20e%20triticale>. Acesso em: 03 out. 2023.

CABRAL, Caroline Ferreira Soares. **Avaliação do ciclo de vida na produção industrial de queijo de cabra**. 2019. 70f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://portal.ifrj.edu.br/sites/default/files/IFRJ/PROPPI/caroline_cabral.pdf. Acesso em: 28 conjuntos. 2023.

CARVALHO, L. C.; ABREU, K. S.; PEREIRA, M. M.; TAKIGAWA, T. M. y; CRUZ, V.C. Silagem de grão úmido de milho na alimentação de suínos. In: VII ENCONTRO DE ZOOTECNIA, 7. 2011, Dracena. **Anais [...]**. [S. L.]: Unesp, 2011. p. 1-2. Disponível em: https://www.dracena.unesp.br/Home/Eventos/SICUD192/Silagem_de_grao_umido_d_e_milho_na_alimentacao_de_suinos.pdf. Acesso em: 18 out. 2023.

CLAUDINO, Edison S.; TALAMIN, Edson. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 77-85, jan. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/s43vSgWwdvCVxSsTf8Mw5C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 1 out. 2023.

ELER, Márcia Noélia; MILLANI, Thiago José. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 36, n., p. 33-44, 5 ago. 2008.

EMBRAPA MILHO E SORGO. **Sistema de Produção**: cultivo do sorgo. [S. L.]: Embrapa, 2015. 271 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/994083/1/Sistema-de-Producao-Cultivo-do-Sorgo.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2023.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília: Fonte: Autoria Própria, 2016. 96 p. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert++Suinocultura+de+baixa+emiss%C3%A3o+de+carbono.pdf>. Acesso em: 23 out. 2023.

FANG, G.-F.; CHEN, W.; WANG, S.-D.; WANG, Y.-D.; LI, C.-H.; ZHU, H.-L.; WANG, H.; ZENG, Y.-Q. Generation of Transgenic Pigs Overexpressing PID1 Gene Mediated by Magnetic Nanoparticles and Sperm. **Asian Journal of Animal and Veterinary Advances**, v.12, p.161-168. 2017.

FATMA – FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução normativa 11. Suinocultura. **Recomendações técnicas para aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e monitoramento da qualidade do solo adubado**. Florianópolis. 2014.

FERNANDES, Amanda Augusta; GÓMEZ, Andrés Maurício Rico; OLIVEIRA, Edenis Cesar de; VILELA, Laíze Aparecida Ferreira. **Classificação etnopedológica e uso do solo em áreas agrícolas do município de Campina do Monte Alegre – SP, Brasil**. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 9, n. 3, p. 12195-12219, 28 mar. 2023. South Florida Publishing LLC. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/58462>. Acesso: 09 ago. 2023.

FERNANDES, Dangela Maria. **Biomassa e Biogás da Suinocultura**. 2012. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/821/1/Dangela%20Maria%20Fernandes.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.

FORSTER, Roy; BODE, Gerd; ELLEGAARD, Lars; LAAN, Jan-Willem van Der. The RETHINK project on minipigs in the toxicity testing of new medicines and chemicals: conclusions and recommendations. **Journal Of Pharmacological And Toxicological Methods**, [S.L.], v. 62, n. 3, p. 236-242, nov. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vascn.2010.05.008>.

GERBER, P.J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G. 2013. Tackling climate change through livestock – **A global assessment of emissions and mitigation opportunities**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i3437e/i3437e.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2023.

GIRALDI-DÍAZ, Mario Rafael; CASTILLO-GONZÁLEZ, Eduardo; MEDINA-SALAS, Lorena de; LACRUZ, Raúl Velásquez-De; HUERTA-SILVA, Héctor Daniel. Environmental Impacts Associated with Intensive Production in Pig Farms in Mexico through Life Cycle Assessment. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 20, p. 11248, 12 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su132011248>.

GIUSTI, Gabriela; ALMEIDA, Gustavo Fonseca de. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO LEITE: estudo de caso no vale do paraíba :: são Paulo. **Impactos das**

Tecnologias nas Ciências Agrárias 3, [S.L.], p. 107-119, 30 set. 2019. Atena Editora. <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.61419300914>.

GIUSTI, Gabriela; SAAVEDRA, Yovana María Barrera; ALMEIDA, Gustavo Fonseca de. Environmental impacts assessment of maize, soybean, and wheat production in the Southwest of São Paulo state: alternative scenarios for the substitution of chemical fertilization. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, [S.L.], v. 30, p. 328-346, 11 out. 2022. Revista Engenharia na Agricultura. <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v30i1.13864>.

GUTIERREZ, Karina; DICKS, Naomi; GLANZNER, Werner Giehl; AGELLON, Luis B.; BORDIGNON, Vilceu. Efficacy of the porcine species in biomedical research. **Frontiers In Genetics**. [Online], p. 293-293. 16 set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fgene.2015.00293>.

HOLTZ, Wolfgang. Pigs and minipigs. In: HUBRECHT, Robert; KIRKWOOD, James (ed.). **The Care and Management of Laboratory and Other Research Animals**. 8. ed. Oxford: Ufaw, 2010. p. 473-494.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@, Campina do Monte Alegre. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/campina-domonte-alegre/panorama>>. Acesso: 09 ago. 2023.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds.). Japan: IGES, 2006.

ISO 14040. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Genova, 2006.

ITO, Minoru; GUIMARÃES, Diego; AMARAL, Gisele. Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 44, p. 125-156, set. 2016. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9974>. Acesso em: 11 set. 2023.

JOSÉ ROBERTO CAMPOS (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: Abes, 1999. 464 p. Projeto PROSAB.

KNOCHE, Helena Martins. **O PLANETA NO PRATO**: análise dos impactos ambientais do consumo de carnes e derivados. 2016. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

KONZEN, Bárbara A. Dalla Vechia; OLIVEIRA, Belmiro Cardoso de; COHEN, Lauro A. Farias Paiva; PÊGO, Kátia Andréa Carvalhaes; PEREIRA, Andréa Franco. Elaboração do Inventário do Ciclo de Vida através da perspectiva do Design Sistemico em um Sistema de Biojoias. In: IX ENSUS – ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO, 9. 2021, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: UFSC, 2021. p. 393-405.

LAINETTI, Elizabeth Brigagão de Faria. **Proposta conceitual de uma instalação para manuseio de mini porcos (minipigs) utilizados em pesquisas científicas**. 2018. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Tecnologia Nuclear, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-22022019-143417/pt-br.php>.

LEITE, João Paulo Toscano da Fonseca do Lago; FERRAZ, Tamires Steil. **AUTOSSUFICIÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA EM UNIDADES DE PRODUÇÃO E TERMINAÇÃO DE SUÍNOS**. 2016. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MARIANO, Mario. Minisuíno (minipig) na pesquisa biomédica experimental: o minipig br1. **Acta Cirúrgica Brasileira**, [S.L.], v. 18, n. 5, p. 387-391, out. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-86502003000500003>. Acesso em: 13 maio 2021

MATTARAIA, Vania Gomes de Moura; VIDOTTI, Cláudio Antonio; DAMY, Sueli Blanes. Suínos como modelos experimentais. **RESBCAL**, São Paulo, v. 1, n. 4, p. 336-343, out. 2012. Disponível em: <http://www.sbcal.org.br/old/upload/arqupload/artigo6volume4-0b8d6.pdf>. Acesso em: 28 set. 2023.

MCAULIFFE, Graham A.; CHAPMAN, Deborah V.; SAGE, Colin L. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.L.], v. 56, p. 12-22, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.008>.

MEDEIROS, Sabrina de; PARZ, Schirley. **Potencial de geração de energia elétrica a partir da digestão anaeróbia de esgoto sanitário**. 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2015.

MELLO, R. Silagem de milho, sorgo e gramíneas tropicais. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.1, nº1, p.48-58, julho/agosto de 2004.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; ROCHA, M.G. Potencial produtivo e qualitativo de híbridos de milho, sorgo e girassol para ensilagem. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, n.1, p.87-95, 2004.

MINIPORCOS no laboratório. **Revista Pesquisa**: FAPESP, São Paulo, v. 127, n. 1, p. 76-77, set. 2006. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/miniporcocos-no-laboratorio/>. Acesso em: 28 set. 2022.

MONTEIRO, Alessandra Nardina Trícia Rigo. **ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA PRODUÇÃO DE SUÍNOS**: efeito da redução do conteúdo de proteína bruta da dieta. 2017. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/1499/1/000226887.pdf>. Acesso em: 01 set. 2023.

MORINO, Camila Canesi. **A APLICAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS NO SOLO COMO INSUMO AGRONÔMICO E OS SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS**. 2021. 154 f. Monografia (Especialização) - Curso de Conformidade Ambiental, Escola Superior da Cetesb, São Paulo, 2021.

OWENS, J. William. LCA impact assessment categories. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.L.], v. 1, n. 3, p. 151-158, set. 1996. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02978944>.

PAZIANI, Solidete de Fátima; JUSTO, Célio Luiz; PERES, Roberto Molinari; HENRIQUE, Wignez. SILAGENS DE CAPIM, CANA-DE-AÇÚCAR E SORGO COMO OPÇÕES À SILAGEM DE MILHO. **Pesquisa & Tecnologia**, [S. L.], v. 9, n. 1, p. 1-5, jan. 2012. Disponível em: <https://www.agricultura.sp.gov.br/documents/1007647/0/33.%20SILAGENS%20DE%20CAPIM,%20CANA-DE-A%3%87%C3%9ACAR%20E%20SORGO%20COMO%20OP%3%87%C3%95ES%20%3%80%20SILAGEM%20DE%20MILHOISSN.pdf/2dbef251-6adc-d0ac-c736-77bedde18e1d>. Acesso em: 03 out. 2023

PREDA, Teodora; NGUYEN, Lan; HERMANSEN, John E.; MOGENSEN, Lisbeth. **ENVIRONMENTAL IMPACT OF BEEF BY LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**: -13 danish beef production systems. Tjele, Dinamarca: Departamento de Agroecologia, Universidade de Aarhus, 2015.

PRETTO, Giovanni. **Técnica de análise do ciclo de vida para gerenciamento ambiental de propriedades produtoras de suínos**. 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Economia Aplicada, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo**: a agricultura em regiões tropicais. NBL Editora, 2002.

QUEIROZ, G. C.; GARCIA, E. E. C. **Reciclagem de sacolas plásticas de polietileno em termos de inventário de ciclo de vida**. *Revista Polímeros*, v.20, p.401-406, 2010.

RIBEIRO, Guilherme José. **Resíduos da suinocultura: impactos ambientais, manejo correto e benefícios.** 2022. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim - Rs, 2016. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/5939/1/RIBEIRO.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.

RODRIGUES, Alison da Silva. **USO DE CASQUINHA DE SOJA IN NATURA COMO ADITIVO NA PRODUÇÃO DE SILAGEM DE CAPIM MOMBAÇA.** 2018. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Faculdade da Amazônia, Vilhena, 2018.

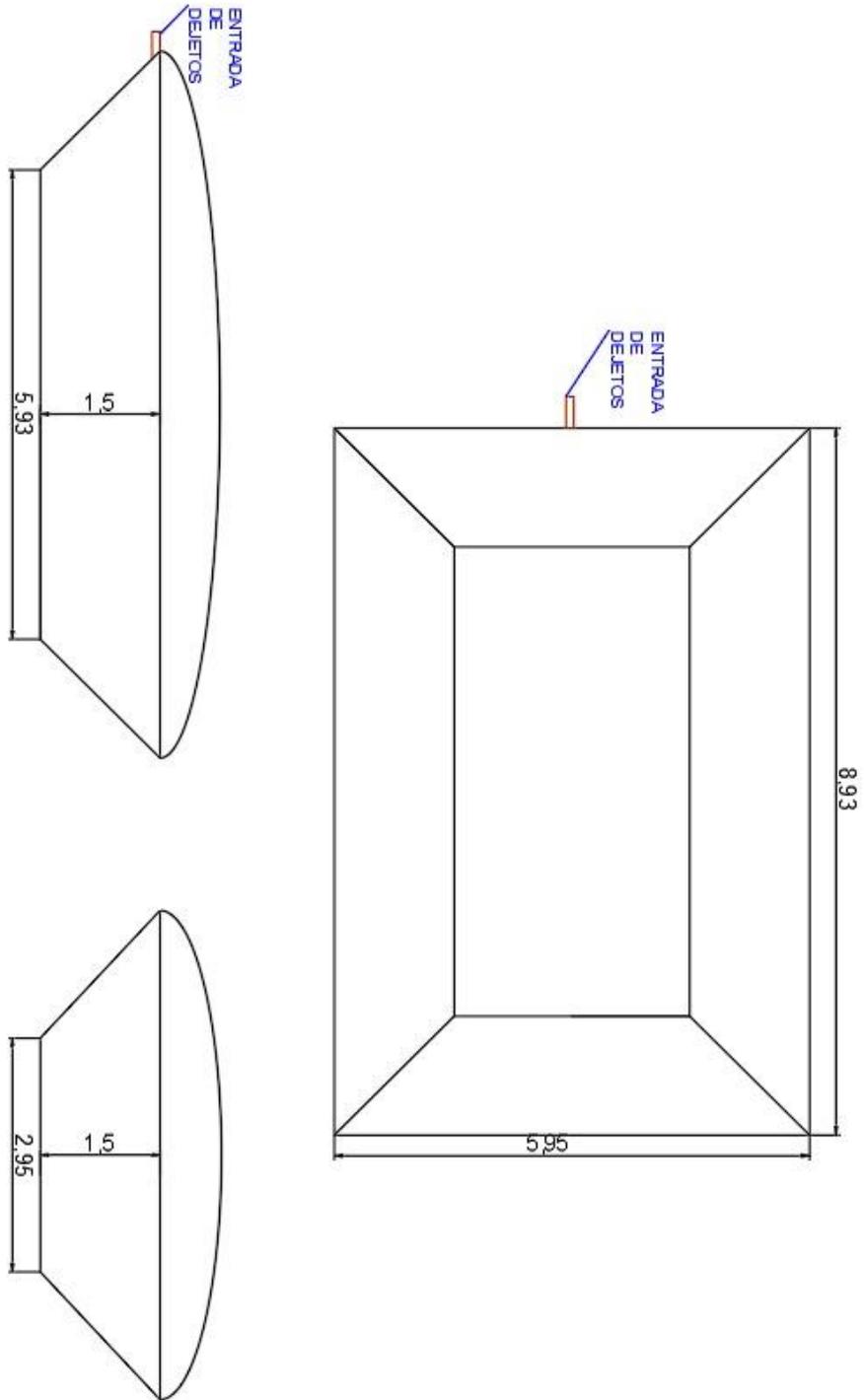
ROSENBAUM, Ralph K. *et al.* USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, [S.L.], v. 13, n. 7, p. 532-546, 22 out. 2008. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>.

ROY, P.; NEI, D.; ORIKASA, T.; XU, Q.; OKADAME, H.; NAKAMURA, N.; SHIJNA, T. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of Food Engineering**, v.90, p.1-10, 2009

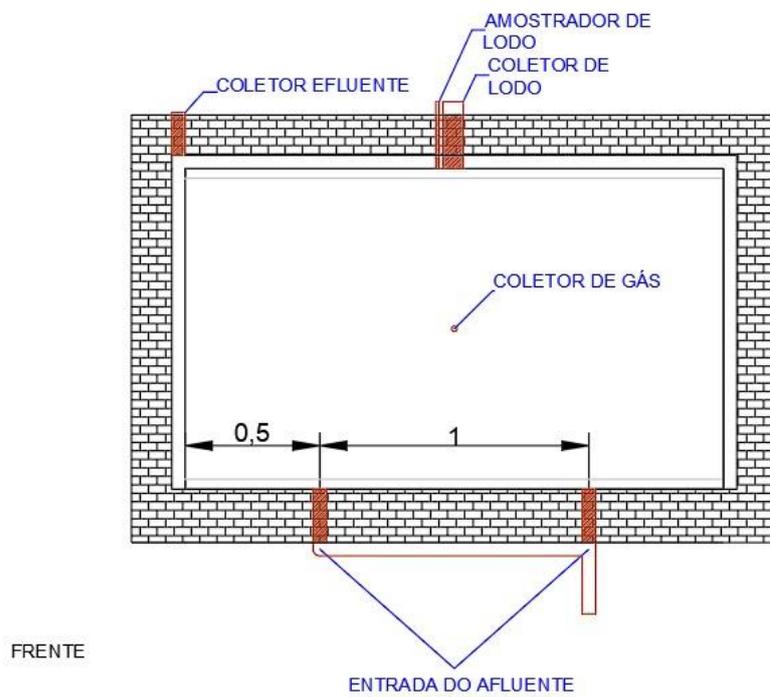
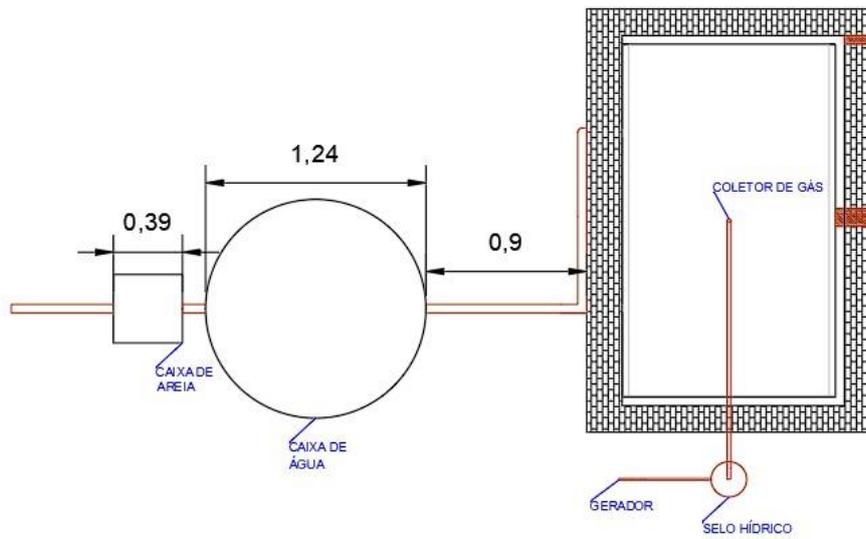
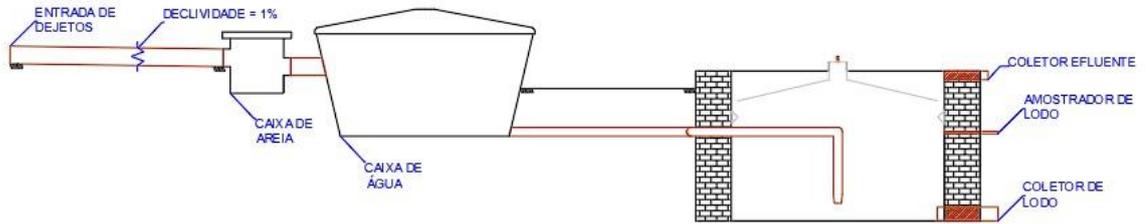
SOARES, Wylke Alves de Azevedo. **MORFOMETRIA, BIOMASSA DE FORRAGEM E ENSILAGEM DE BRS CAPIAÇU NO MUNICÍPIO DE AREIA - PB.** 2022. 43 f. TCC (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2022.

THRANE, M.; SCHMIDT, J. A. **Life cycle assessment (LCA).** In: **Environmental Planning and Management.** Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet, p. 53-80, 2004. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/en/publications/life-cycle-assessment-lca>. Acesso em: 19 maio 2021.

APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DO BIODIGESTOR DE LAGOA COBERTA



APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DO REATOR UASB



FRENTE

ENTRADA DO AFLUENTE

