

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIEL FERNANDES SALES**

**MAPEAMENTO DE ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA  
ECONOMIA CIRCULAR EM PROPRIEDADES SUINÍCOLAS**

**PONTA GROSSA**

**2023**

**GABRIEL FERNANDES SALES**

**MAPEAMENTO DE ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA  
ECONOMIA CIRCULAR EM PROPRIEDADES SUINÍCOLAS**

**Mapping strategies towards to the development of circular economy in pig  
farming**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco  
Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Duque de Brito

**PONTA GROSSA**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Ponta Grossa**



GABRIEL FERNANDES SALES

**MAPEAMENTO DE ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA ECONOMIA CIRCULAR  
EM  
PROPRIEDADES SUINÍCOLAS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Área de concentração: Gestão Industrial.

Data de aprovação: 24 de fevereiro de 2023

Dr. Antonio Carlos De Francisco, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Elias Lira Dos Santos Junior, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Flavio Trojan, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Luiz Filipe Frechaut Trepa Torres Goncalves Rodrigues, Doutorado - Instituto Politécnico de Portalegre

Dr. Paulo Sergio Duque De Brito, Doutorado - Instituto Politécnico de Portalegre

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 20/04/2023.

Dedico este trabalho à todas as pessoas que colaboraram de alguma forma na sua construção, família, amigos, colegas, professores e outros profissionais.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por conceder o dom da sabedoria e por iluminar todos os caminhos da minha jornada acadêmica até o presente momento.

Aos meus familiares que sempre me incentivaram a buscar novos conhecimentos, me apoiaram em todas as decisões e me encorajaram a buscar novas direções para meu desenvolvimento.

Aos meus amigos e colegas que mesmo a distância estavam sempre me incentivando em todos os períodos, compartilhando conhecimentos, experiências, reuniões virtuais e momentos essenciais para esta conquista.

Aos professores do LESP e do PPGEF da UTFPR, e, também, aos professores do Valoriza do IPPortalegre, que contribuíram alegremente para o meu enriquecimento pessoal e profissional durante essa jornada do mestrado.

À coordenação do PPGEF, especialmente ao Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski, que esteve sempre presente no apoio aos alunos do mestrado e a internacionalização do programa por meio da concretização de novas parcerias com outras instituições.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Ponta Grossa e ao Instituto Politécnico de Portalegre (IPPortalegre), por terem sido minha casa nesse período, podendo me acolher e me oferecer todo o suporte físico e intelecto necessário.

A concessão da bolsa de recursos próprios da UTFPR, em parceria com a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), no qual proporcionou o apoio financeiro para dedicação à pesquisa e o desenvolvimento da mesma.

Ao orientador Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco e ao coorientador Prof. Dr. Paulo Sérgio Duque de Brito que me auxiliaram em todas as etapas para a construção deste trabalho, ao que dedicaram tempo e incentivaram compartilhando todo conhecimento e experiência necessária.

Por fim, agradeço a todos, que mesmo não mencionados aqui, mas com boas intenções, puderam colaborar para a realização e finalização deste trabalho de forma direta e indireta.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação  
determina o que você conquista”  
(Aldo Novak).

## RESUMO

Estimativas do crescimento populacional têm indicado um aumento expressivo no consumo de alimentos, ocasionando problemas relacionados à segurança alimentar e ao meio ambiente. Dessa forma, o consumo de carne suína também tem se intensificado e o avanço da suinocultura intensiva traz consigo alguns impactos ambientais como: emissão de gases do efeito estufa, geração de efluentes, consumo de energia, resíduos poluentes, entre outros. Como forma de mitigar esses efeitos, a economia circular tem sido abordada como uma estratégia inovadora que busca maximizar o uso de recursos e minimizar os impactos ambientais através da criação de um ciclo fechado de produção e consumo. Esta dissertação teve como objetivo principal caracterizar potenciais práticas da economia circular aplicadas à suinocultura e ao tratamento de resíduos, em busca de uma transição para um modelo de negócio mais circular, de forma a mitigar os impactos causados, além de proporcionar benefícios econômicos para as propriedades suinícolas. Como resultado foi aplicado uma pesquisa de mercado com 128 suinocultores de diferentes regiões, a fim de avaliar o nível de desenvolvimento e o conhecimento de diferentes estratégias circulares para tratamento de resíduos e valorização ambiental. Em seguida, foi apresentado um mapeamento de estratégias para os níveis micro, meso e macro com base em tecnologias e processos que visam o desenvolvimento sustentável na suinocultura. Dessa forma, foi possível apresentar uma visão mais completa do potencial da economia circular na suinocultura, incluindo suas implicações ambientais e estratégias que visam o desenvolvimento desse setor.

Palavras-chave: economia circular; suinocultura; estratégias; sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

Estimates of population growth have indicated a significant increase in food consumption, causing problems related to food security and the environment. Thus, pork consumption has also intensified, and the advance of intensive pig farming brings with it some environmental impacts such as: greenhouse gas emissions, effluent generation, energy consumption, polluting waste, among others. To mitigate these effects, the Circular Economy has been approached as an innovative strategy that seeks to maximize the use of resources and minimize environmental impacts through the creation of a closed production and consumption cycle. The main objective of this dissertation was to characterize potential Circular Economy practices applied to pig farming and waste treatment, in search of a transition to a more circular business model, in order to mitigate the impacts caused in addition to providing economic benefits for pig farms. As a result, a market survey was applied with 128 pig farmers from different regions, in order to assess the level of development and knowledge of different circular strategies for waste treatment and environmental valorization. Then, a mapping of strategies was presented for the micro, meso, and macro levels based on technologies and processes that aim at sustainable development in swine production. Thus, it was possible to present a more complete vision of the potential of Circular Economy in pig farming, including its environmental implications and strategies aimed at the development of this sector.

Keywords: circular economy; pig farming; strategy; sustainability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura da Dissertação .....	23
Figura 2 - Pilares da busca .....	26
Figura 3 - Filtros aplicados para a revisão sistemática .....	30
Figura 4 - Distribuição anual dos artigos do portfólio bibliográfico.....	31
Figura 5 - Distribuição espacial da origem dos artigos do portfólio bibliográfico .....	32
Figura 6 - Principais instituições acadêmicas dos artigos .....	33
Figura 7 - Principais revistas que mais publicaram artigos neste portfólio .....	34
Figura 8 - Construção do mapeamento estratégico.....	39
Figura 9 - Abrangência da economia circular nas áreas estratégicas para o desenvolvimento .....	46
Figura 10 - Princípios da economia circular .....	48
Figura 11 - Estratégias da economia circular em cada um dos níveis estratégicos .....	51
Figura 12 - Cidades e economia circular para Alimentos .....	56
Figura 13 - Cadeia de suprimentos da suinocultura .....	62
Figura 14 - Fluxos de entradas e saídas dos processos de suinocultura.....	66
Figura 15 - Circularidade entre a produção de suínos e produção de alimentos .....	74
Figura 16 - Distribuição demográfica das propriedades participantes da pesquisa.....	92
Figura 17 - Classificação do tipo de produção e tamanho das propriedades ...	93
Figura 18 - Classificação das técnicas e processos de produção adotadas .....	95
Figura 19 - Fontes de energia utilizadas pelas propriedades.....	97
Figura 20 - Origem dos recursos hídricos utilizado nas propriedades .....	100
Figura 21 - Origem do fornecimento dos insumos para alimentação.....	103
Figura 22 - Processos utilizados para o tratamento e valorização do estrume .....	105
Figura 23 - Processos utilizados para o tratamento e valorização de águas residuais.....	108
Figura 24 - Processos utilizados para o tratamento e mitigação de emissões atmosféricas .....	110
Figura 25 - Produtos gerados a partir dos processos de tratamento.....	111
Figura 26 - Grau de conhecimento e familiaridade com diferentes tecnologias de tratamento e valorização de resíduos .....	113
Figura 27 - Aplicação e utilização das tecnologias nas fazendas entrevistadas .....	115
Figura 28 - Mapeamento de estratégias circulares para a suinocultura .....	121

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

### LISTA DE ABREVIATURAS

°C	Graus Celsius
3r's	Reduzir, Reutilizar e Reciclar
6r's	Remodelação, Redesenho, Redução, Reciclagem, Reutilização e Recuperação
CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
H <sub>2</sub>	Hidrogênio
H <sub>2</sub> S	Sulfato de Hidrogênio
K	Potássio
Kg	Quilograma
M <sup>3</sup>	Metro Cúbicos
MJ	Megajoule
MPa	Mega Pascal
MT	Tonelada Métrica
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
NH <sub>3</sub>	Amônia
P	Fósforo
P+L	Produção mais Limpa

### LISTA DE SIGLAS

ABCS	Associação Brasileira dos Criadores de Suínos
ACV	Análise do Ciclo de Vida
EC	Economia Circular
EMF	Ellen MacArthur
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IPPortalegre	Instituto Politécnico de Portalegre
JCR	Journal Citation Reports
MFA	Análise de Fluxos Materiais
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PPGEP	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
TRL	Technology Readiness Level
TVAPE	Mestrado em Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VFAs	Ácidos Graxos Voláteis
WEF	Fórum Económico Mundial
USDA	United States Department of Agriculture

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ABEPRO	Associação Brasileira de Engenharia de Produção
CAAS	Academia Chinesa de Ciências Agrícolas
CAU	Universidade Agrícola da China
CECA	Categorias de Avaliação da Circularidade Económica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
LESP	Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos sustentáveis
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ONU	Organização das Nações Unidas
PIB	Produto Interno Bruto
SISTRATES	Sistema de Tratamento de efluentes da suinicultura
FAOSTAT	Statistical Data Bases
VALORIZA	Centro de Investigação para Valorização de Recursos Endógenos
UNIDO	Organização das Nações Unidas para o desenvolvimento Industrial

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>18</b>
1.1.1	Objetivo geral .....	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Áreas de concentração da engenharia de produção e linha de pesquisa</b> .....	<b>20</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da dissertação</b> .....	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1</b>	<b>Classificação da pesquisa</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Procedimentos metodológicos</b> .....	<b>26</b>
2.2.1	Construção do portfólio bibliográfico .....	26
2.2.2	Identificação da economia circular e tecnologias de valorização ambiental na suinocultura .....	34
2.2.3	Coleta de informações e mensuração do desenvolvimento do setor .....	36
2.2.4	Confecção do mapeamento estratégico ( <i>roadmap</i> ).....	38
<b>3</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>Economia circular</b> .....	<b>42</b>
3.1.1	Princípios da economia circular.....	47
3.1.2	Níveis de implementação da economia circular .....	50
3.1.3	Estratégias de aplicação da economia circular .....	53
3.1.4	Aplicações da economia circular .....	58
<b>3.2</b>	<b>Suinocultura</b> .....	<b>61</b>
3.2.1	Processos da suinocultura .....	63
<u>3.2.1.1</u>	<u>Insumos</u> .....	<u>67</u>
<u>3.2.1.2</u>	<u>Estrume</u> .....	<u>69</u>
<u>3.2.1.3</u>	<u>Águas residuais</u> .....	<u>71</u>
<u>3.2.1.4</u>	<u>Emissões atmosféricas e odor</u> .....	<u>72</u>
<b>3.3</b>	<b>Economia circular na suinocultura</b> .....	<b>73</b>
3.3.1	Impactos ambientais da suinocultura .....	78
3.3.2	Recuperação de resíduos .....	83
<u>3.3.2.1</u>	<u>Tratamentos biológicos</u> .....	<u>83</u>
<u>3.3.2.2</u>	<u>Tratamentos térmicos</u> .....	<u>88</u>

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>91</b>
<b>4.1</b>	<b>Panorama geral do setor</b> .....	<b>91</b>
4.1.1	Classificação das propriedades suíncolas .....	91
4.1.2	Análise dos resultados da circularidade das fazendas .....	96
<b>4.2</b>	<b>Mapeamento estratégico</b> .....	<b>116</b>
4.2.1	Estratégias a nível governamental e setorial .....	117
4.2.2	Estratégias a nível regional e cooperativas .....	119
4.2.3	Estratégias a nível empresarial e processos .....	120
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>125</b>
<b>5.1</b>	<b>Limitações da pesquisa</b> .....	<b>128</b>
<b>5.2</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros</b> .....	<b>128</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>130</b>
	<b>APÊNDICE A - Portfólio Final de Artigos</b> .....	<b>141</b>
	<b>APÊNDICE B - Questionário de Pesquisa</b> .....	<b>150</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Para garantir a segurança alimentar de uma região é necessário a união de diversos fatores políticos, econômicos, sociais e ambientais, além de novas tecnologias capazes de fornecer maiores quantidades de alimentos e produtividade com os recursos e áreas de cultivo já existentes (EMF, 2019). Entretanto, o sistema alimentar atual é insustentável devido às ineficiências que resultam em perda de produtividade, energia, recursos naturais e biodiversidade, além de contribuir para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, escassez de recursos, mudanças climáticas e outros problemas ambientais e sociais (KAYIKCI *et al.*, 2021).

Atrelado ao crescimento populacional e o consumo de alimentos, é possível notar uma expansão na produção de carne animal e seu consumo, sendo responsáveis por grande parte da alimentação mundial (SCHNEIDER; ZANONI; CARRA, 2016). De acordo com dados da FAOStat (2020), os tipos de carnes mais consumida na alimentação dos humanos são frango (118 milhões de toneladas), porco (110 milhões de toneladas), gado (68 milhões de toneladas), entre outras com menores quantidades. Com isso, é notório a importância da alimentação de carne para manter a saúde e segurança alimentar da população.

A China é a maior produtora de suínos no mundo, sendo responsável pela produção de 48,850 mil toneladas de suínos no ano de 2021, em seguida a União Europeia produziu cerca de 23,680 mil toneladas, seguidos por Estados Unidos e Brasil, com 12,568 mil toneladas e 4,325 mil toneladas, respectivamente (EMBRAPA, 2022). Contudo, a produção de suínos também é uma atividade muito importante para a economia de diversos outros países, sendo distribuído em todos os continentes com cerca de 60% na Ásia, 19% na Europa, 17% nas Américas, 3,5% na África e apenas 0,5% na Oceania (CAMARGO *et al.*, 2018).

No caso do Brasil, o setor de suinocultura tem se destacado a cada ano, em 2021 alcançou-se a produção de 4,701 milhões de toneladas de carne, sendo representado por um aumento de 5,97% em relação ao ano anterior. Esta produção foi destinada 76% para o mercado interno e 24% para exportações, representando um consumo per capita de 16,7Kg e um aumento de 11,03% nas exportações (EMBRAPA, 2022). A cadeia de fornecimento de suínos possui um grande impacto econômico, envolvendo cerca de 60 mil suinocultores e mais de 660 mil funcionários, entre eles 34,8% presentes nas fazendas, 22,7% na indústria de insumos, 18,2% nas

indústrias de processamento e 24,2% responsáveis pelas vendas (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Devido ao avanço da produção no sistema intensivo e aumento no consumo de carne suína, este setor tem contribuído significativamente para a intensificação da poluição ambiental, principalmente por meio do descarte inadequado de resíduos. Deste modo, a suinocultura tem apresentado cerca de 30% dos poluentes provenientes de toda a indústria pecuária, o que equivale a uma quantidade significativa de poluentes comparáveis a outros tipos de carne em toda a indústria (ZHANG *et al.*, 2021).

O sistema de criação de suínos precisa ser transformado para um modelo de produção mais sustentável, no qual implica mudanças em algumas áreas, como: melhorias no gerenciamento eficiente dos resíduos sólidos e líquidos nas fazendas; desenvolvimento de atividades colaborativas entre a agricultura e a pecuária, possibilitando a troca de produtos, subprodutos e resíduos; escolha criteriosa de locais com condições climáticas, solos, relevo e aquíferos ideais; e um maior equilíbrio no desenvolvimento das comunidades locais (BAUTISTA; AGUILAR; GIJÓN-YESCAS, 2022).

Uma metodologia que tem ganhado bastante foco para o desenvolvimento sustentável, não somente na cadeia alimentícia, mas para diversas outras áreas e suas tecnologias é a economia circular. É uma metodologia que faz uma associação entre desenvolvimento econômico e uma melhor utilização dos recursos naturais disponíveis, possibilitando a transformação de modelos de negócios atuais e melhorias nos processos produtivos industriais, fazendo com que a indústria dependa menos da matéria-prima virgem e passe a usar mais insumos recicláveis, renováveis e que durem mais.

O modelo de economia circular visa substituir o atual sistema linear de produção e consumo, com foco em benefícios para toda a sociedade. Seus principais objetivos estão na eliminação dos resíduos e poluição a partir da fonte, manutenção dos produtos e materiais por maior tempo de uso e regeneração dos sistemas naturais (EMF, 2017). Assim, pode ser considerado uma das principais formas de manter o ecossistema em harmonia e equilíbrio, gerando menos resíduos e mitigando os impactos nas esferas ambientais, sociais e econômicas.

A economia circular também pode estar presente no setor da suinocultura em seus diversos processos, no qual visa aumentar a sua rentabilidade e diminuir os

impactos ao meio ambiente. Todas as entradas desse sistema produtivo como energia, água e alimentos podem ser procedentes de uma transição de uma cadeia mais sustentável com base nos princípios da economia circular. Além disso, pode-se incluir os diferentes produtos e resíduos gerados em um novo ciclo fechado de produção, onde a sua reutilização e reciclagem podem se tornar mais favoráveis aos danos causados.

É esperado que a suinocultura continue a se intensificar no futuro, entretanto, há uma crescente necessidade de especialização e conscientização do setor para o desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis. Além disso, ainda há alguns desafios a serem enfrentados em busca de melhorias na circularidade, atualmente o setor tem lidado diretamente com a escassez de ração produzida internamente, a baixa eficiência no uso de ingredientes alimentares, as elevadas emissões de nitrogênio e fósforo para o meio ambiente, o alto uso de antibióticos e a presença de metais residuais em dejetos animais, fatores que acabam dificultando o desenvolvimento de estratégias economicamente viáveis e ambientalmente corretas. Para lidar com esses problemas, técnicas como o uso de novos recursos alimentares, alimentação adequada, dietas de baixa proteína, alternativas aos antibióticos e aumento da reciclagem de estrume são temas importantes para direções de pesquisa atuais (ZHANG *et al.*, 2021).

Com o objetivo de aumentar o valor dos resíduos e promover a bioeconomia circular, vários estudos e soluções tecnológicas estão sendo investigados por pesquisadores e centros de inovações em diferentes regiões do mundo, entretanto o conhecimento sobre essa área ainda é muito fragmentado e possui diversos desafios e barreiras para serem alcançados em busca do desenvolvimento ambiental e econômico simultaneamente (MUHL; OLIVEIRA, 2022).

Com isso, este trabalho busca uma resposta para a seguinte questão: **Quais são as estratégias atuais disponíveis para a aplicação de conceitos da economia circular em propriedades suinícolas?** Para isso, foi proposto a construção de um mapeamento estratégico de práticas da economia circular na suinocultura, tendo em vista a identificação de tecnologias para recuperação, valorização e tratamento de resíduos e mitigação de impactos nos variados modelos de negócios. Assim, com resultados pretende-se possibilitar uma visão de otimização dos processos, melhoria na performance das fazendas e redução dos efeitos negativos ao meio ambiente.

Este estudo visa contribuir para o desenvolvimento de atividades mais sustentáveis no âmbito das propriedades rurais que tem como sua atividade principal a suinocultura, mas também pode apoiar outras práticas ambientais que visam o fechamento do ciclo de toda cadeia, impactando nos demais setores do ecossistema local. Com isso, espera-se entender a realidade atual do setor consoante as tecnologias aplicadas para o mapeamento de oportunidades e diferentes estratégias, com o foco no aperfeiçoamento de práticas circulares e melhores resultados econômicos, ambientais, sociais e de governança.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Mapear as estratégias para recuperação, reuso e valorização de resíduos e mitigação de impactos ambientais em busca da circularidade em propriedades suinícolas

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a) Caracterizar os processos da suinocultura, resíduos gerados e impactos ambientais do setor;
- b) Prospectar práticas da economia circular aplicáveis ao modelo de suinocultura;
- c) Identificar processos de valorização ambiental para minimização dos impactos;
- d) Mensurar o desenvolvimento do setor por meio de uma pesquisa de mercado;
- e) Construir um mapa estratégico baseado nas possibilidades de aplicação da economia circular na suinocultura.

## **1.2 Justificativa**

O setor de pecuária no mundo passou por grandes evoluções nas últimas décadas, motivado por uma crescente demanda por proteína animal, o aumento da renda da população, o desenvolvimento de novas tecnologias, os sistemas de produção intensivos e a disponibilidade do produto para consumo. Com isso, surge-

se uma nova demanda de ações em busca da sustentabilidade para este setor, devido ao grande potencial de impactos e preocupações que este modelo tem causado ao ecossistema, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias para avaliação e mensuração de atividades reforcem a minimização dos impactos causados pelas práticas intensivas de produção (CAMARGO *et al.*, 2018).

A suinocultura gera expressivas quantidade de resíduos, sendo eles: dejetos animal, águas residuais e poluição atmosférica, transformando o seu descarte incorreto e o não tratamento em uma grave questão ambiental mundial. Além disso, o volume de produção tem impactado outras áreas, como a excessiva extração de recursos naturais, a utilização de fontes de energia não renováveis, o uso e ocupação do solo para cultivo de alimentos, as emissões de gases do efeito estufa e outros fatores. Apesar da evolução de diversas regulamentações nacionais e internacionais que visam o controle dos impactos ambientais neste setor, ainda há uma certa dificuldade na implementação de estratégias que sejam ambientalmente corretas e economicamente viáveis para os seus promotores, havendo um grande gargalo no aprimoramento de novas tecnologias para a reutilização de recursos provenientes da matéria orgânica gerada e outros resíduos (DADRASNIA *et al.*, 2021).

Neste contexto, destaca-se a necessidade da construção de estratégias de produção mais sustentáveis, no qual visam ações e incentivos para recuperação e valorização dos resíduos e a criação de novos produtos que possam impactar positivamente a cadeia produtiva. Uma dessas estratégias é a transição para um modelo de economia circular, no qual tem como objetivo o desenvolvimento de técnicas de produção com o foco na redução do consumo de recursos naturais e o prolongamento do ciclo de vida do produto. Com isso, o estabelecimento de metas e objetivos em busca da circularidade para o setor de suinocultura tem ganhado grande destaque perante os potenciais resultados almejados, especialmente em termos de desempenho econômico e ambiental.

Apesar do produtor de suínos possuir boa parte das responsabilidades no tratamento e descarte dos resíduos por meio de uma estrutura física, sendo ela própria ou terceirizada, ainda há uma escassez no conhecimento de tecnologias que viabilizem este processo. Assim, se torna fundamental a criação de um direcionamento de políticas e referências tecnológicas que possam promover a adoção de práticas sustentáveis nesse setor, sendo essencial a colaboração entre os setores públicos, privado e acadêmico, no qual visam alternativas para solução deste

problema juntamente com a preservação do meio ambiente, inclusão social e saúde pública (CAMARGO *et al.*, 2018).

Outra necessidade a se considerar nesta pesquisa, é o fato de que os sistemas de produção atuais na maioria das vezes são dependentes de fontes de energia fóssil como carvão, gás natural e petróleo (AWASTHI *et al.*, 2019). Deste modo, o desenvolvimento de estratégias para valorização de resíduos da suinocultura tem se demonstrado um importante promotor de energias renováveis, a partir da geração de bioenergia e biocombustíveis, sendo uma alternativa para reduzir os custos de produção e contribuir para o meio ambiente (ARAÚJO *et al.*, 2016).

Por outro lado, ainda existe um grande potencial de crescimento da economia circular a partir do aprofundamento dos benefícios a serem extraídos do ecossistema, minimizando assim os impactos negativos ao ambiente, além de melhorar a saúde humana e otimizar os recursos utilizados (EMF, 2019). Além disso, a busca por benefícios da circularidade tem sido cada vez mais exigida por países com regulamentações ambientais mais rígidas e a população em geral, que buscam por produtos mais sustentáveis, gerando oportunidade de evolução de modelos que suprem essa necessidade mundial (OUNSANEHA *et al.*, 2018).

### **1.3 Áreas de concentração da engenharia de produção e linha de pesquisa**

Esta pesquisa está estabelecida no âmbito de uma parceria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa, juntamente com o curso de Mestrado em Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia (TVAPE) do Instituto Politécnico de Portalegre (IPPortalegre), Portugal.

No PPGEP, o Mestrado em Engenharia de Produção está enquadrado na área de concentração de Gestão Industrial, área responsável pelo desenvolvimento de estudos e pesquisas relacionadas com a gestão de processos industriais e suas diferentes áreas voltadas à Engenharia de Produção. Além disso, está contido na linha de pesquisa de Gestão do Conhecimento e Inovação, no qual busca desenvolver novas pesquisas e descobertas para o setor a partir da otimização e melhoria de processos, novas tecnologias, novos conhecimentos e resultados inovadores.

Entre as áreas e subáreas do curso de Engenharia de Produção descritas pela Associação Brasileira de Engenharia de Produção (ABEPRO, 2008), este estudo se enquadra majoritariamente no tópico de Engenharia da Sustentabilidade, nas áreas

de Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, porém, também há contribuições nas áreas de Engenharia de Operações e Processos de Produção, a partir da Gestão de Processos; na área de Logística, contribuindo para estudos na Gestão da Cadeia de Suprimentos; na área de Engenharia Organizacional, com vistas na Gestão Estratégica Organizacional e Gestão da Inovação dos modelos de negócios circulares da suinocultura; e Engenharia Econômica, responsável pela avaliação da viabilidade econômica da implementação de novas tecnologias para valorização ambiental e recuperação de resíduos.

Ainda, a participação no grupo de pesquisa está vinculada ao Laboratório de Estudos em Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP), no qual busca desenvolver soluções sustentáveis por meio da integração de alunos, professores e empresas, em busca do desenvolvimento sustentável a partir de práticas da economia circular, Análise do Ciclo de Vida (ACV), energias renováveis, qualidade de vida, responsabilidade social, eco inovação e outros (PPGEP, 2021).

Já na parceria de dupla titulação com o Mestrado em Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia, visa-se a ampliação de conhecimentos relacionados às diferentes técnicas de recuperação de resíduos e valorização ambiental. Além disso, a área de concentração em Tecnologias Ambientais tem como objetivo o domínio de ferramentas tecnológicas inovadoras que visam o desenvolvimento de estratégias de prevenção e soluções para o gerenciamento de problemas ambientais em busca do desenvolvimento sustentável.

Está vinculado ao grupo de pesquisa do Centro de Investigação para Valorização de Recursos Endógenos (VALORIZA), unidade de investigação multidisciplinar com o objetivo de incentivar pesquisas nas áreas de energia e valorização de resíduos, produção sustentável e ambiente e valorização de territórios transfronteiriços de baixa densidade (VALORIZA, 2023).

Em síntese, este estudo pretende mapear as estratégias da economia circular para o manejo de resíduos e valorização ambiental na suinocultura. Conseqüentemente, possibilitou-se gerar novos conhecimentos para o desenvolvimento sustentável e a gestão ambiental eficaz neste setor.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, apresentados em ordem sequencial para a execução da pesquisa e obtenção dos resultados almejados. No

primeiro capítulo (Introdução), foi descrito uma breve apresentação do contexto da pesquisa e sua temática, os objetivos (geral e específicos), justificativa da pesquisa e inserção do tema nas áreas da Engenharia de Produção (UTFPR) e Tecnologias Ambientais (IPPortalegre).

No segundo capítulo (Metodologia), apresenta-se a classificação da pesquisa e as etapas definidas para obtenção dos resultados, sendo esta dividida em quatro fases: construção do portfólio bibliográfico (1) a partir da busca nas bases de dados, classificação e avaliação de artigos científicos da área; Identificação das tecnologias de valorização ambiental (2), realizada a partir da avaliação da aplicabilidade e viabilidade econômica ambiental nos processos da suinocultura; Coleta de informações e mensuração do desenvolvimento do setor (3), por meio da aplicação de uma pesquisa no setor; e confecção do mapa estratégico (*roadmap*) (4), com o uso de fluxogramas para o desenho de estratégias para economia circular na suinocultura.

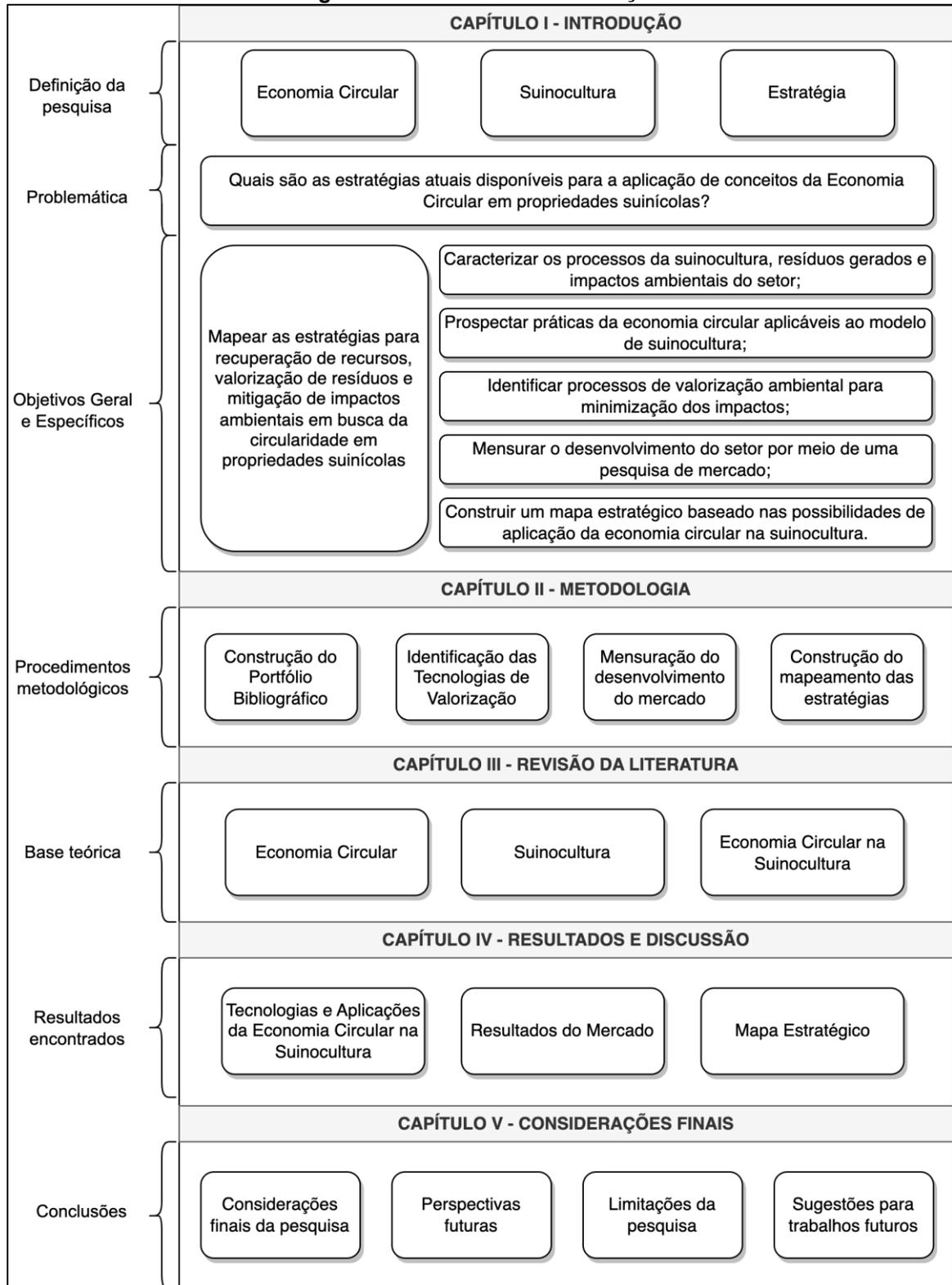
No capítulo seguinte (Revisão da Literatura), está disposto os resultados encontrados na base de artigos pesquisados, aprofundando a fundamentação teórica nas três principais vertentes abordadas por esta pesquisa: economia circular e seus princípios de desenvolvimento sustentável; fontes de recursos, processos, resíduos e impactos ambientais da suinocultura; e o desenvolvimento de estratégias circulares para o setor. Além disso, são apresentados outros tipos de conteúdo relevantes sobre a temática para construção dos resultados, informações estas encontradas em outras bases de dados, sites da internet, associações, órgãos regulamentadores e outras organizações da área.

No quarto capítulo (Resultados e Discussões), estão evidenciados os resultados encontrados a partir da prospecção de tais tecnologias, sua viabilidade de aplicação e benefícios que podem ser alcançados. Em seguida, é apresentado as respostas e análise de dados sobre a pesquisa efetuada, com o foco em trazer um panorama atual do desenvolvimento no setor. E, finalmente são construídas as soluções estratégicas para o mapeamento das oportunidades de aplicação da economia circular na suinocultura, trazendo discussões mais amplas sobre os resultados encontrados.

No último capítulo (Considerações Finais), é apresentado as conclusões obtidas para este estudo, bem como as limitações envolvidas e as perspectivas futuras para novas pesquisas e continuidade do trabalho. Assim, na Figura 1 está

descrito de forma resumida a estruturação e etapas abordadas neste documento por meio de um fluxograma que sintetiza a pesquisa de um modo global.

**Figura 1 - Estrutura da Dissertação**



Fonte: Autoria própria (2022).

## **2 METODOLOGIA**

A seção de metodologia está subdividida em duas partes, na primeira é apresentada a caracterização da pesquisa quanto a abordagem, natureza, classificação e procedimentos usados para o embasamento deste estudo. Já na segunda parte está disposto os procedimentos metodológicos e ferramentas utilizadas em cada uma das etapas para o alcance dos objetivos (geral e específicos – Capítulo I), e, os métodos utilizados para aplicação da pesquisa e construção do mapeamento estratégico da economia circular na suinocultura para obter-se os resultados.

### **2.1 Classificação da pesquisa**

Uma pesquisa científica tem como intuito realizar um estudo planejado, baseado em um procedimento metodológico para obtenção de respostas por indagações ainda incompreensíveis, ou seja, visa buscar e construir informações novas para temas em que ainda não há respostas concretas (PRODANOV; FREITAS, 2013). A classificação da pesquisa pode variar de acordo com o tipo de investigação empregado e suas perspectivas, de acordo com a natureza, abordagem (assunto), propósito (objetivos) e procedimentos de coleta de informações (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010).

Do ponto de vista da natureza da pesquisa, este estudo pode ser classificado como natureza aplicada, no qual tem como objetivo o desenvolvimento de um mapeamento estratégico da economia circular em busca de novos avanços no setor da suinocultura, de forma a promover melhorias práticas nos processos visando a sustentabilidade das fazendas. Além disso, busca-se propor soluções para o gerenciamento de resíduos e valorização ambiental para a minimização dos impactos ambientais causados neste setor. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), este tipo de pesquisa tem como intuito gerar conhecimentos para solução de problemas específicos a partir da aplicação prática, promovendo o interesse de comunidades locais para o desenvolvimento.

Quanto à abordagem da pesquisa, pode-se classificar como uma pesquisa quali-quantitativa. A pesquisa qualitativa é caracterizada por análises com base no conhecimento teórico-empírico sem o uso de instrumento estatístico para obtenção dos dados, já a abordagem quantitativa visa a coleta e tratamento de dados a partir de instrumentos estatísticos (ZANELLA, 2013). Dessa forma, a abordagem

quantitativa deste estudo se dá a partir da coleta e análise de dados das propriedades rurais obtidas por meio da aplicação de questionários e a avaliação do setor, já a abordagem qualitativa está baseada nas avaliações subjetivas obtidas após a análise dos dados e outras informações dos suinocultores e do mercado, além disso, também foi possível desenvolver uma análise qualitativa da literatura e tecnologias existentes atualmente visando seus impactos e estratégias de aplicação em diferentes propriedades.

Aos objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória, onde busca-se investigar a fundo um tema específico com base em seus objetivos e hipóteses. A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar novas perspectivas sobre o assunto investigado, a partir da delimitação de objetivos e hipóteses, visando descobrir novos conhecimentos para um determinado assunto (PRODANOV; FREITAS, 2013). Neste caso, buscou-se construir uma estrutura de novos campos de pesquisa para as melhorias dos processos e impactos da suinocultura por meio da aplicação da economia circular, visando a obtenção de novos resultados a partir de um levantamento teórico e uma análise prática sobre as experiências em campo, trazendo uma nova abordagem de estratégias que visam o aperfeiçoamento do gerenciamento da cadeia de suínos de forma mais abrangente consoante as características das fazendas suinícolas.

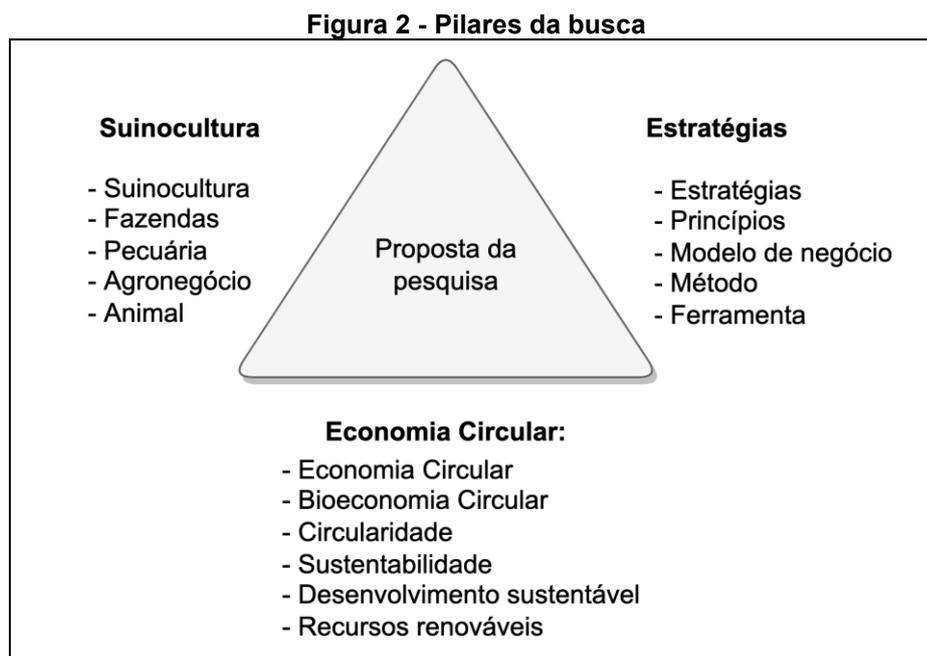
Nos procedimentos de coleta, esta pesquisa pode ser classificada em duas fases, sendo a primeira uma pesquisa bibliográfica a partir do levantamento do portfólio bibliográfico e revisão sistemática da literatura com base em artigos e outros documentos publicados nas bases de dados e organizações renomadas, e a segunda um estudo de caso voltado ao setor de suinocultura, uma vez que buscou-se a construção de um mapeamento estratégico de práticas circulares aplicável em um campo de pesquisa específico das propriedades com o foco no desenvolvimento sustentável de seus processos, considerando o meio em que estão inseridas. A pesquisa bibliográfica é realizada a partir de materiais já publicados e disponibilizados para acesso, já o estudo de caso envolve um estudo profundo e exaustivo no qual permite a geração de um conhecimento amplo e detalhado de um campo de pesquisa (GIL, 2002).

## 2.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos descritos a seguir têm como finalidade atingir os objetivos específicos apresentados no Capítulo I, para o alcance dos resultados esperados. Inicialmente, estão descritos os passos para a construção do portfólio bibliográfico e a revisão sistemática da literatura, e, em seguida, são apresentados os procedimentos utilizados para coleta de dados, desenvolvimento do mapeamento estratégico e análise dos resultados.

### 2.2.1 Construção do portfólio bibliográfico

O propósito da construção de um portfólio bibliográfico foi alcançar os objetivos específicos a), b) e c) (Capítulo I). Nessa etapa buscou-se na literatura evidências da aplicação da economia circular nos processos da suinocultura, possibilitando a identificação de fontes de geração de resíduos e as principais práticas sustentáveis já abordadas neste setor. Para uma maior abordagem do tema foram definidos 3 pilares principais para compor as buscas, sendo eles: Suinocultura, economia circular e Estratégias, logo em cada pilar também foram definidos alguns temas que estão diretamente relacionados com a temática para busca dos estudos na literatura. Os pilares e seus respectivos temas estão descritos na Figura 2.



Fonte: Autoria própria (2022).

A construção do portfólio bibliográfico foi definida a partir da busca de artigos já publicados nas três principais bases de dados para essa área de pesquisa, sendo elas: Science Direct (2022), Scopus (2022) e Web of Science (2022). Todos os termos mencionados na Figura 2 foram traduzidos para o inglês consoante suas variações de escritas e posteriormente combinados com os operadores booleanos "AND" e "OR" para uma maior abrangência nos resultados buscados.

Por se tratar de uma área muito abrangente, realizou-se diversos testes de combinações entre os três pilares definidos para um melhor ajuste das combinações. Assim, foi definido uma melhor separação das palavras chaves em três diferentes buscas (Busca A, Busca B e Busca C), visando a maximização da abrangência dos dados nas três bases de dados utilizadas.

Na Busca A foi definido a utilização dos termos mais globais em cada um dos pilares, como economia circular ou Bioeconomia Circular – "*Circular Economy*" OR "*Circular Bioeconomy*" – somados à produção de suínos – ("*Pig*" OR "*Swine*" OR "*Hog*") AND ("*Farming*" OR "*Raising*" OR "*Property*" OR "*Production*") – e os modelos estratégicos – "*Strategy*" OR "*Principles*" OR "*Business Model*" OR "*Method*" OR "*Tool*" – obtendo-se um total de 84 artigos categorizados como resultados chaves para essa pesquisa.

Para não se limitar apenas aos resultados da busca anterior, optou-se por fazer uma relação mais ampliada na busca B, relacionando a suinocultura e produção de suínos – ("*Pig*" OR "*Swine*" OR "*Hog*") AND ("*Farming*" OR "*Raising*" OR "*Property*" OR "*Production*") – com a economia circular, circularidade, sustentabilidade e recursos renováveis – ("*Circular Economy*" OR "*Sustainability*" OR "*Regenerative*" OR "*Sustainable Development*" OR "*Circularity*" OR "*Renewable Sources*" – totalizando 1978 artigos encontrados. Apesar do número expressivo de artigos destaca-se que uma grande parte não estaria abrangido no escopo da pesquisa, contudo devido às limitações das buscas avançadas não foi possível fazer os filtros automáticos, sendo necessário a exclusão nos filtros da metodologia. Apenas na base de dados Scopus foi adicionado o operador PRE/3 para delimitar a precedência entre as palavras relacionados aos suínos e à produção na primeira combinação da *query*.

Para finalizar a pesquisa, na Busca C foi definido uma combinação no qual pudesse relacionar economia circular – "*Circular Economy*" OR "*Circular Bioeconomy*" – as estratégias – "*Strategy*" OR "*Principles*" OR "*Business Model*" OR "*Method*" OR "*Tool*" – e a pecuária, agronegócios e processos rurais de modo mais geral –

"Livestock" OR "Rural" OR "Farm" OR "Agribusiness" – possibilitando uma maior abrangência das estratégias a ser aplicadas fora do contexto de suínos. Neste caso, obteve-se 632 resultados de artigos nas três bases pesquisadas.

Em todas as bases de dados foram realizadas as buscas com o delimitador dos termos buscados presentes no título, resumos ou palavras chaves dos artigos. Os resultados abrangeram artigos de qualquer idioma já publicados durante todo o período de contagem das bases até o dia 18 de agosto de 2022 (data da busca e extração dos resultados), conforme pode ser observado no Quadro 1.

**Quadro 1 - Combinações de palavras-chaves e resultados por base de dados**

Busca A						
Scopus		Science Direct		Web of Science	Total	
TITLE-ABS-KEY (("Circular Economy" OR "Circular Bioeconomy") AND ("Pig" OR "Swine" OR "Hog") AND ("Farming" OR "Raising" OR "Property" OR "Production") AND ("Strategy" OR "Principles" OR "Business Model" OR "Method" OR "Tool"))	39	Title, abstract and keywords ("Circular Economy" OR "Circular Bioeconomy") AND ("Pig" OR "Swine" OR "Hog") AND ("Farming" OR "Raising" OR "Property" OR "Production") AND ("Strategy" OR "Principles" OR "Business Model" OR "Method" OR "Tool"))	20	TS=(("Circular Economy" OR "Circular Bioeconomy") AND ("Pig" OR "Swine" OR "Hog") AND ("Farming" OR "Raising" OR "Property" OR "Production") AND ("Strategy" OR "Principles" OR "Business Model" OR "Method" OR "Tool"))	25	84
Busca B						
Scopus		Science Direct		Web of Science	Total	
TITLE-ABS-KEY (((“Pig” OR “Swine” OR “Hog”) PRE/3 (“Farming” OR “Raising” OR “Property” OR “Production”)) AND ("Circular Economy" OR "Sustainability" OR "Regenerative" OR "Sustainable Development" OR "Circularity" OR "Renewable Sources"))	341	Title, abstract and keywords (((“Pig” OR “Swine” OR “Hog”) AND ("Farming" OR "Raising" OR "Property" OR "Production")) AND ("Circular Economy" OR "Sustainability" OR "Regenerative" OR "Sustainable Development" OR "Circularity" OR "Renewable Sources"))	906	TS = ((("Pig" OR "Swine" OR "Hog") AND ("Farming" OR "Raising" OR "Property" OR "Production")) AND ("Circular Economy" OR "Sustainability" OR "Regenerative" OR "Sustainable Development" OR "Circularity" OR "Renewable Sources"))	731	1978
Busca C						
Scopus		Science Direct		Web of Science	Total	
TITLE-ABS-KEY (("Circular Economy" OR "Circular Bioeconomy") AND ("Strategy" OR "Principles" OR "Business Model" OR "Method" OR "Tool") AND	327	Title, abstract and keywords ("Circular Economy" OR "Circular Bioeconomy") AND ("Strategy" OR "Principles" OR "Business Model" OR "Method" OR	133	TS = (("Circular Economy" OR "Circular Bioeconomy") AND ("Strategy" OR "Principles" OR "Business Model" OR "Method" OR "Tool"))	172	632

("Livestock" OR "Rural" OR "Farm" OR "Agribusiness" ) )	"Tool") AND ("Livestock" OR "Rural" OR "Farm" OR "Agribusiness" ) )	AND ("Livestock" OR "Rural" OR "Farm" OR "Agribusiness" ) )		
---	---	---	--	--

Fonte: Scopus, Science Direct e Web of Science (2022).

No total foram realizadas nove pesquisas entre as três bases de dados e as três combinações de busca, completando 2.694 artigos que foram descarregados e adicionados no gerenciador de referências Mendeley® para posterior análise dos resultados e aplicação dos filtros de seleção.

O primeiro filtro entre os artigos selecionados na busca foi a exclusão dos artigos duplicados que podem estar listados em mais de um base de dados ou que foram resultados idênticos em mais de uma das buscas realizadas. Ao adicionar os dados dos artigos no Mendeley®, aplicou-se a ferramenta de verificação de duplicatas no qual foi encontrado 768 artigos idênticos que foram mesclados entre si, totalizando assim 1926 correspondências únicas de artigos no portfólio. Posteriormente, os dados do filtro 1 foram extraídos para uma planilha do Microsoft Excel® para análises dos resultados e aplicação dos demais filtros.

No filtro 2 realizou-se uma avaliação do título dos artigos consoante o escopo da pesquisa delimitado anteriormente, possibilitando a exclusão dos artigos que não estavam relacionados com o tema como por exemplo artigos que não abordavam pelo menos dois dos pilares da pesquisa, artigos com aplicações urbanas fora do escopo rural, anatomia de animais e processos não relacionados com a suinocultura. Como foram feitas buscas mais abrangentes foi necessário a aplicação dos critérios citados para exclusão dos artigos, sendo eliminado 1505 artigos e restando 421 para a próxima análise.

A partir dos artigos selecionados, aplicou-se o filtro 3 onde foi realizado a leitura dos resumos de cada um dos 421 artigos, a fim de entender os objetivos, metodologias e resultados dos estudos que pudessem contribuir com este trabalho. Nesta etapa, foi eliminado os artigos focados em análises químicas, uso de medicamentos, anatomia dos animais, abates e processos industriais, viabilidade de determinados processos e estudos aplicados em outras categorias de criação de animais que não são estendidas para os suínos, mantendo-se apenas os artigos focados nos processos da suinocultura e suas aplicações. Assim foram eliminados 316 artigos, restando 105 resultados para as próximas etapas.

Em seguida, o filtro 4 foi composto por uma nova busca dos artigos nas bases de dados e outras ferramentas para obtenção dos artigos completos que irão compor o portfólio final. Dentre os artigos buscados não foram encontrados 3 deles com acesso aberto disponível para download, já os demais foram descarregados para sua leitura completa, entretanto, ainda foram eliminados mais dois artigos que não apresentavam resultados relevantes para o foco da pesquisa, totalizando 100 artigos para o portfólio final desta pesquisa. A Figura 3, apresenta de forma resumida os resultados obtidos em cada uma das etapas de filtro e seleção dos artigos.

**Figura 3 - Filtros aplicados para a revisão sistemática**

Etapas para revisão de literatura	BUSCA A	BUSCA B	BUSCA C	TOTAL
Quantidade de artigos	Quantidade de artigos	Quantidade de artigos	Quantidade de artigos	Quantidade de artigos
União dos artigos duplicados encontrados nas bases de dados	<b>FILTRO 1</b> 84 artigos 31 mesclados	<b>FILTRO 1</b> 1978 artigos 475 mesclados	<b>FILTRO 1</b> 632 artigos 262 mesclados	<b>FILTRO 1</b> 2694 artigos 768 eliminados
Avaliação dos títulos conforme o escopo da pesquisa	<b>FILTRO 2</b> 53 artigos 14 eliminados	<b>FILTRO 2</b> 1503 artigos 1233 eliminados	<b>FILTRO 2</b> 370 artigos 258 eliminados	<b>FILTRO 2</b> 1926 artigos 1505 eliminados
Revisão dos resumos dos artigos	<b>FILTRO 3</b> 39 artigos 4 eliminados	<b>FILTRO 3</b> 270 artigos 228 eliminados	<b>FILTRO 3</b> 112 artigos 84 eliminados	<b>FILTRO 3</b> 421 artigos 316 eliminados
Artigos não disponíveis para acesso aberto e leitura completa	<b>FILTRO 4</b> 35 artigos 3 não encontrados 1 eliminado	<b>FILTRO 4</b> 42 artigos 0 não encontrado	<b>FILTRO 4</b> 28 artigos 1 eliminado	<b>FILTRO 4</b> 105 artigos 5 eliminados
	<b>TOTAL</b> 31 artigos	<b>TOTAL</b> 42 artigos	<b>TOTAL</b> 27 artigos	<b>TOTAL</b> 100 artigos

Fonte: Autoria própria (2022).

Além do portfólio de artigos construído, realizou-se novas buscas paralelas para obtenção de alguns dados e informações mais específicas do setor e suas aplicações, assim, foi consultado também fontes externas e organizações de grande renome na viabilização do desenvolvimento dessa temática. Utilizou-se relatórios e conteúdos sobre a aplicação da economia circular na agricultura, processos da suinocultura, seus impactos ambientais e produção de energia em órgãos e fundações como Ellen MacArthur Foundation (EMF), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), Fórum Econômico Mundial (WEF), Organização das Nações

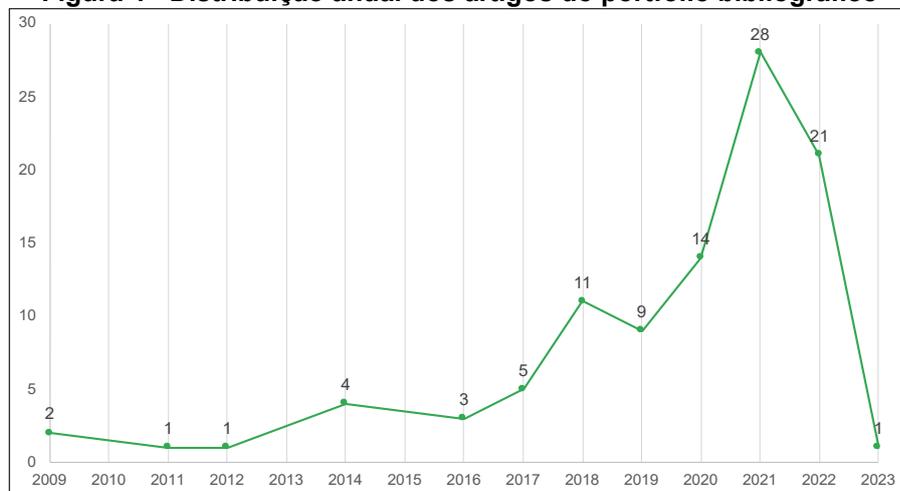
Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO), e outros para composição da revisão literária disponível.

Todos os resultados encontrados nas revisões completas dos artigos e relatórios foram utilizados para composição de fichas resumo contendo as informações de maior relevância para a pesquisa, no qual foram utilizadas para a composição da Revisão da Literatura (Capítulo III). Os artigos presentes no portfólio final também estão listados em uma tabela no qual contém as principais características como: autores, ano de publicação, títulos, áreas de pesquisa, instituição e país, revista publicada, número de citações e JCR, apresentados no Apêndice 1.

Entre os artigos utilizados no portfólio foi desenvolvido uma análise bibliométrica para uma comparação mais profunda de algumas características que podem contribuir para a qualidade e precisão das informações, como a atualidade dos artigos, países de origem, instituições e revistas.

É possível notar que o tema pesquisado tem sido cada vez mais desenvolvido na área acadêmica de acordo com o crescimento de artigos publicados nos últimos anos. Conforme mostrado na Figura 4, os artigos presentes no portfólio foram publicados a partir de 2009 (2 publicações), obtendo maior relevância a partir de 2018 (11) e com um pico em 2021 (28) e 2022 (21). Vale ressaltar que a pesquisa foi realizada no mês de agosto de 2022, não contabilizando todos os artigos publicados neste ano para as análises. Além disso, também houve um resultado com pré-publicação para o ano de 2023.

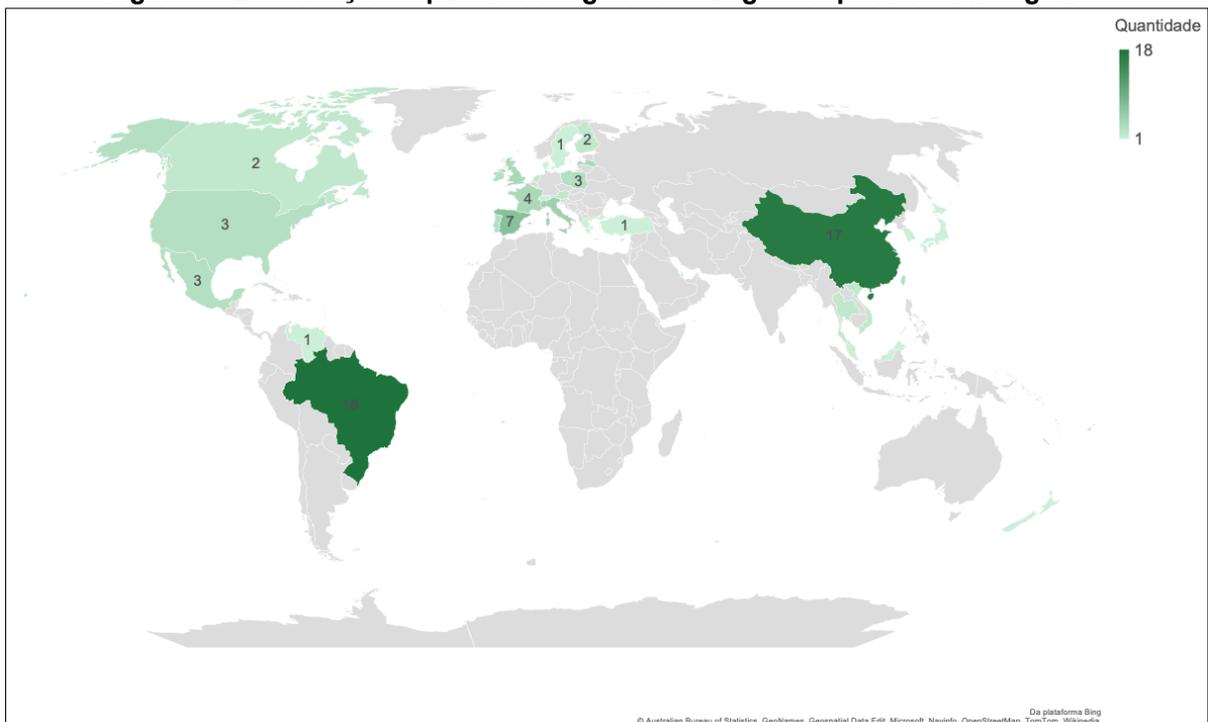
**Figura 4 - Distribuição anual dos artigos do portfólio bibliográfico**



Fonte: Scopus, Science Direct e Web of Science (2022).

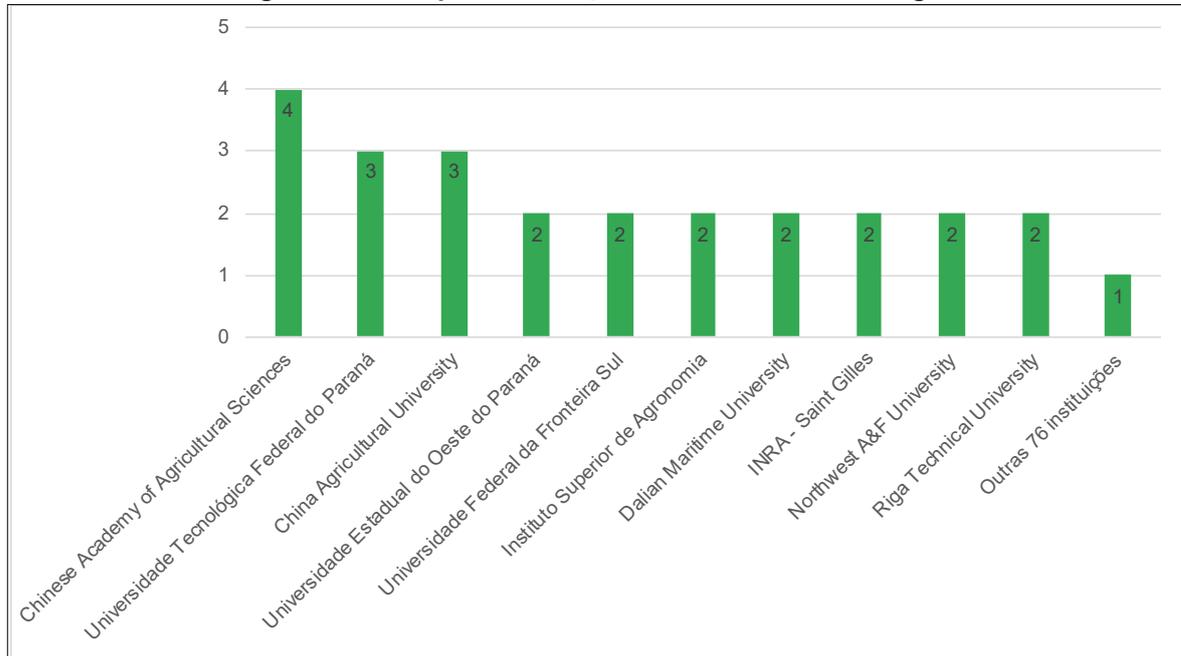
Quanto aos países de origem das publicações presentes no portfólio bibliográfico desta pesquisa, pode-se dizer que houve uma ampla variação de diversos países no mundo, com um total de 30 diferentes origens. O país com o maior número de publicações foi o Brasil (18 artigos), devido a grande quantidade de suinocultores e expressivas produções em âmbito mundial. Em seguida, a China (17) também deu origem a uma grande quantidade de artigos, pelo fato de ser o país com maior produção de suínos no mundo atualmente. Já os demais estudos estão presentes em países europeus como Espanha (7), Itália (5), França (4), Letônia (4), Reino Unido (4), Irlanda (3), Portugal (3) e Polônia (3), além dos Estados Unidos (3), México (3), Taiwan (3) e outros países da Ásia, Europa e Américas, conforme pode ser observado na Figura 5.

**Figura 5 - Distribuição espacial da origem dos artigos do portfólio bibliográfico**



**Fonte: Scopus, Science Direct e Web of Science (2022).**

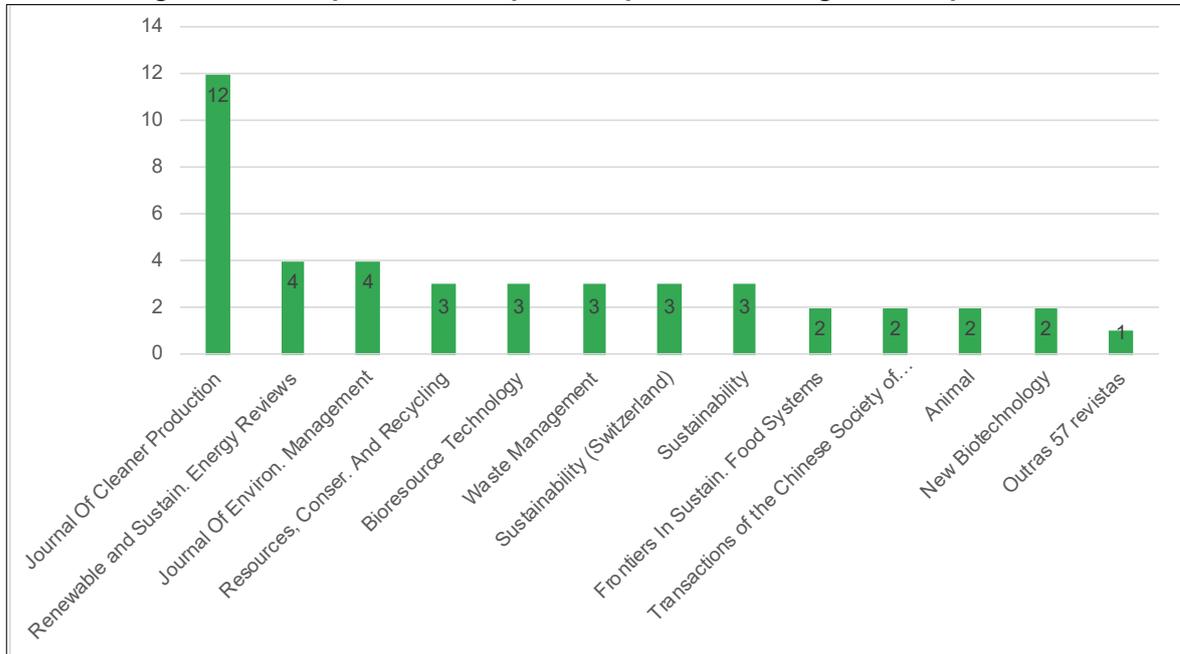
Além disso, os artigos presentes no portfólio final são escritos por pesquisadores e professores de diversas universidades ao redor do mundo. Na maioria dos casos havia mais de uma instituição vinculada aos autores devido a colaboração entre as pesquisas, entretanto, foi considerado apenas a filiação do primeiro autor para efeitos de comparação. Obteve-se um total de 86 instituições distintas de pesquisa, sendo as mais relevantes apresentadas na Figura 6.

**Figura 6 - Principais instituições acadêmicas dos artigos**

**Fonte: Scopus, Science Direct e Web of Science (2022).**

A primeira instituição foi a Academia Chinesa de Ciências Agrícolas (CAAS), com 4 artigos publicados, trata-se de um instituto de pesquisa nacional na China que realiza pesquisas nas áreas de agricultura, silvicultura e pecuária, foi fundada em 1957 na cidade de Pequim - China. Já a segunda colocada foi a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com 3 publicações, é uma instituição de ensino superior pública localizada no estado do Paraná - Brasil, foi fundada em 1912 e oferece uma ampla gama de programas de graduação e pós-graduação em áreas como engenharia, ciência da computação, design, administração, entre outras. Também com 3 publicações está a Universidade Agrícola da China (CAU), é uma das melhores universidades da China, particularmente no campo da agricultura e disciplinas relacionadas, foi fundada em 1905 em Pequim e oferece uma ampla gama de programas de graduação e pós-graduação em áreas como ciências agrícolas, ciência e tecnologia de alimentos, silvicultura, pecuária e ciência ambiental.

Estes artigos também foram publicados em revistas especializadas na área no qual são submetidos a um processo de revisão por pares que avalia a qualidade e a relevância do trabalho antes da publicação. No portfólio estudado foram encontradas 69 revistas presentes em âmbito internacional, no qual estão apresentadas na Figura 7 de acordo com sua maior relevância em quantidade de artigos neste portfólio.

**Figura 7 - Principais revistas que mais publicaram artigos neste portfólio**

**Fonte: Scopus, Science Direct e Web of Science (2022).**

A revista com maior quantidade de publicações foi a Cleaner Production, com 12 artigos, trata-se de uma revista científica publicada pela Elsevier focada em pesquisa e desenvolvimento no campo da produção mais limpa e desenvolvimento sustentável, incluindo redução de resíduos, eficiência energética, eco inovação, consumo sustentável e gerenciamento ambiental. A segunda revista foi a Renewable and Sustainable Energy Reviews, com 4 publicações, também é publicada pela Elsevier e é focada nas áreas de energia renovável e sustentável, incluindo energia solar, eólica, bioenergia, hidrelétrica, geotérmica e armazenamento de energia com foco na redução do impacto ambiental. Também com 4 publicações, está a revista Journal of Environmental Management, publicada pela Elsevier e abrange uma ampla gama de tópicos relacionados à gestão ambiental, incluindo avaliação ambiental, conservação e biodiversidade, políticas e regulamentações ambientais, saúde e segurança e desenvolvimento sustentável.

### 2.2.2 Identificação da economia circular e tecnologias de valorização ambiental na suinocultura

Após a revisão da literatura, apresentada no tópico anterior, foi realizado um estudo mais aprofundado frente aos resultados encontrados, reunindo a base de artigos, informações abertas, estudos de casos, relatórios e conhecimentos

adquiridos, viabilizando assim a identificação e compilação das tecnologias de valorização ambiental disponíveis neste setor. O objetivo dessa revisão foi avaliar os processos da suinocultura e o seu potencial de aplicação de estratégias da economia circular, além de auxiliar na identificação e classificação das tecnologias mais promissoras e relevantes para este estudo. Deste modo, essa etapa permitiu alcançar um maior foco e direcionamento para a pesquisa de mercado e conclusões posteriores.

Para a consolidação das informações encontradas foi levado em consideração os processos da suinocultura incluindo o *born to gate*, ou seja, as etapas desde o nascimento dos leitões até a venda do suíno crescido para o abate em um sistema de produção integrado, no qual a criação ocorre em um local diferente do abate e é coordenado dentro da própria fazenda. Assim, as aplicações da economia circular na suinocultura podem ser desenvolvidas em diferentes etapas da cadeia produtiva por meio de diferentes estratégias, separando-se os resíduos e pontos críticos do processo em que devem ser desenvolvidas as técnicas para minimização dos impactos.

Primeiramente foi trabalhado a circularidade na sua forma mais ampla, ou seja, as aplicações da economia circular nos processos da suinocultura como um todo, bem como as potenciais estratégias que podem fazer com que o modelo de negócios seja mais sustentável nos fluxos de materiais, alimentos, energia, água e outros insumos. Além de viabilizar a gestão ambiental e utilização de tecnologias inovadoras no qual facilitem o reaproveitamento e reutilização dos resíduos em diferentes processos e outras áreas da empresa.

Em seguida, foi desenvolvido uma análise perante as tecnologias potencialmente viáveis que possibilitam modificar as entradas de insumos nas propriedades suinícolas. As estratégias circulares na fase inicial do processo têm como objetivo promover a redução do consumo de recursos naturais e reduzir os insumos consumidos, além de possibilitar uma maior integração entre as diferentes áreas e outras empresas.

No final do processo, foi considerado o impacto causado pelos produtos e resíduos gerados devido ao modelo intensivo de suinocultura adotado atualmente. Foi realizado um levantamento dos processos e tecnologias disponíveis que possam melhorar o tratamento de estrumes e águas residuais, bem como minimizar os impactos ambientais causados pelas emissões atmosféricas. Além disso, existem

diferentes possibilidades de reaproveitamento e valorização de resíduos para a idealização de novos produtos e fontes de receitas para o negócio.

Com base nas informações adquiridas, foi elaborado um compilado com os resultados, incluindo uma síntese das principais estratégias e potencialidades que podem ser desenvolvidas no setor. Sendo uma etapa essencial para a unificação de parâmetros em diferentes etapas da suinocultura que serviram como base para as etapas posteriores de aplicação da pesquisa e o mapeamento estratégico, no qual viabiliza a aplicação da economia circular acompanhada por benefícios ambientais e econômicos.

### 2.2.3 Coleta de informações e mensuração do desenvolvimento do setor

Para a fase de coleta de dados de mercado da suinocultura e mensuração do desenvolvimento do setor, foi desenvolvido um questionário online com o objetivo de mapear a realidade das fazendas e entender as principais dificuldades envolvidas na aplicação de estratégias circulares. Além disso, buscou-se fazer uma análise consoante as tecnologias aplicadas e o grau de desenvolvimento das fazendas na aplicação de processos que visam a mitigação dos impactos ambientais e o tratamento dos resíduos gerados.

O questionário foi dividido em três seções, somadas a uma sessão de apresentação do projeto e objetivos da pesquisa para um melhor entendimento dos participantes da pesquisa. A primeira seção foi dedicada à identificação da propriedade entrevistada, buscando-se classificar a fazenda de acordo com seu modelo de negócios, variedade de animais na criação, atividades agrícolas, tamanho da suinocultura, modelos e técnicas de criação e fontes de energia, água e alimentação utilizadas, ou seja, classificação das fazendas e caracterização das suas fontes de insumos (*inputs*) para o processo de suinocultura.

A segunda seção, teve como objetivo identificar as formas de tratamento dos resíduos gerados nos diferentes processos da suinocultura, possibilitando mapear as estratégias adotadas atualmente para a minimização dos impactos causados pelos principais resíduos. Assim, as perguntas foram divididas entre os processos de tratamento e reaproveitamento do estrume, águas residuais, emissões de gases e controle de odores. Em seguida, buscou-se identificar os produtos gerados a partir do tratamento e valorização dos resíduos, no qual podem viabilizar o desenvolvimento

de práticas circulares dentro da própria fazenda a partir do seu reaproveitamento e utilização em novos processos.

Já a última seção foi reservada a entender o grau de conhecimento de novas tecnologias por parte dos suinocultores e seu grau de familiaridade com a aplicação de algumas técnicas que envolvem tanto a minimização de impactos ambientais quanto a valorização dos resíduos. Foram escolhidas 12 tecnologias no qual apresentam resultados positivos para a circularidade na suinocultura, sendo algumas delas já desenvolvidas há mais tempo no mercado e outras mais inovadoras, tais como: Digestão anaeróbica (biodigestores); Compostagem; Lagoas de estabilização; Esterqueiras; Tratamento biológico; SISTRATES (Sistema de tratamento de efluentes da suinocultura); Microalgas e algas, Produção de hidrogênio; Pirólise, combustão ou incineração; Gaseificação; Biorrefinaria; Biossíntese ou fotobiorreator. As perguntas dessa seção foram divididas entre o grau de conhecimento da tecnologia e os fatores envolvidos ou dificuldades na sua aplicação.

Optou-se por realizar a aplicação da pesquisa de forma digital a partir da adaptação do questionário online no Google Forms®, possibilitando a disponibilização de um link para os proprietários das propriedades de forma remota em diferentes regiões do país. Deste modo, as perguntas e opções de escolhas podem ser consultadas na replicação do questionário disponibilizado no Apêndice I.

A execução da pesquisa ocorreu mediante parcerias com empresas, agentes e consultores do mercado que disponibilizaram os contatos de proprietários de fazendas no qual possuem a suinocultura entre as suas principais atividades. Em busca de uma maior abrangência do estudo e maior facilidade na busca de informações em diferentes regiões, a pesquisa foi desenvolvida majoritariamente por contato direto com os suinocultores por WhatsApp e E-mail, além de contar com o suporte de algumas cooperativas que disponibilizaram o link de acesso da pesquisa para os seus associados.

Para os contatos diretamente disponibilizados foi priorizada a comunicação direta com os suinocultores para explicação dos objetivos do questionário, e, assim, evitar eventuais dúvidas no conteúdo e no formato da resposta. Além das respostas também se obteve algumas informações qualitativas de particularidades de cada propriedade, no qual possibilitaram um melhor entendimento dos processos da suinocultura, fontes de resíduos e os impactos ambientais. Para os demais contatos, foi encaminhado por meio dos intermediadores uma explicação padrão que continha

todas as informações necessárias para os respondentes. A pesquisa foi desenvolvida no período de novembro e dezembro de 2022 e obteve-se 128 respostas.

Após a coleta de dados, foi realizado algumas análises qualitativas e quantitativas de acordo com as respostas e a relação entre as seções do questionário, tendo como objetivo entender melhor as atuais aplicações e a realidade do setor para compreender os resultados, e, posteriormente, obter-se as conclusões relevantes para este estudo. As análises quantitativas foram desenvolvidas utilizando o Microsoft Excel® para o tratamento e análise dos dados, em seguida, os gráficos foram plotados com o auxílio da ferramenta *web Flourish*®, possibilitando uma visualização mais dinâmica dos resultados. Já a análise qualitativa desenvolveu-se a partir do aprofundamento dos dados e relações entre as características das fazendas e as tecnologias aplicadas ou mais conhecidas, possibilitando identificar algumas tendências e padrões na amostra coletada.

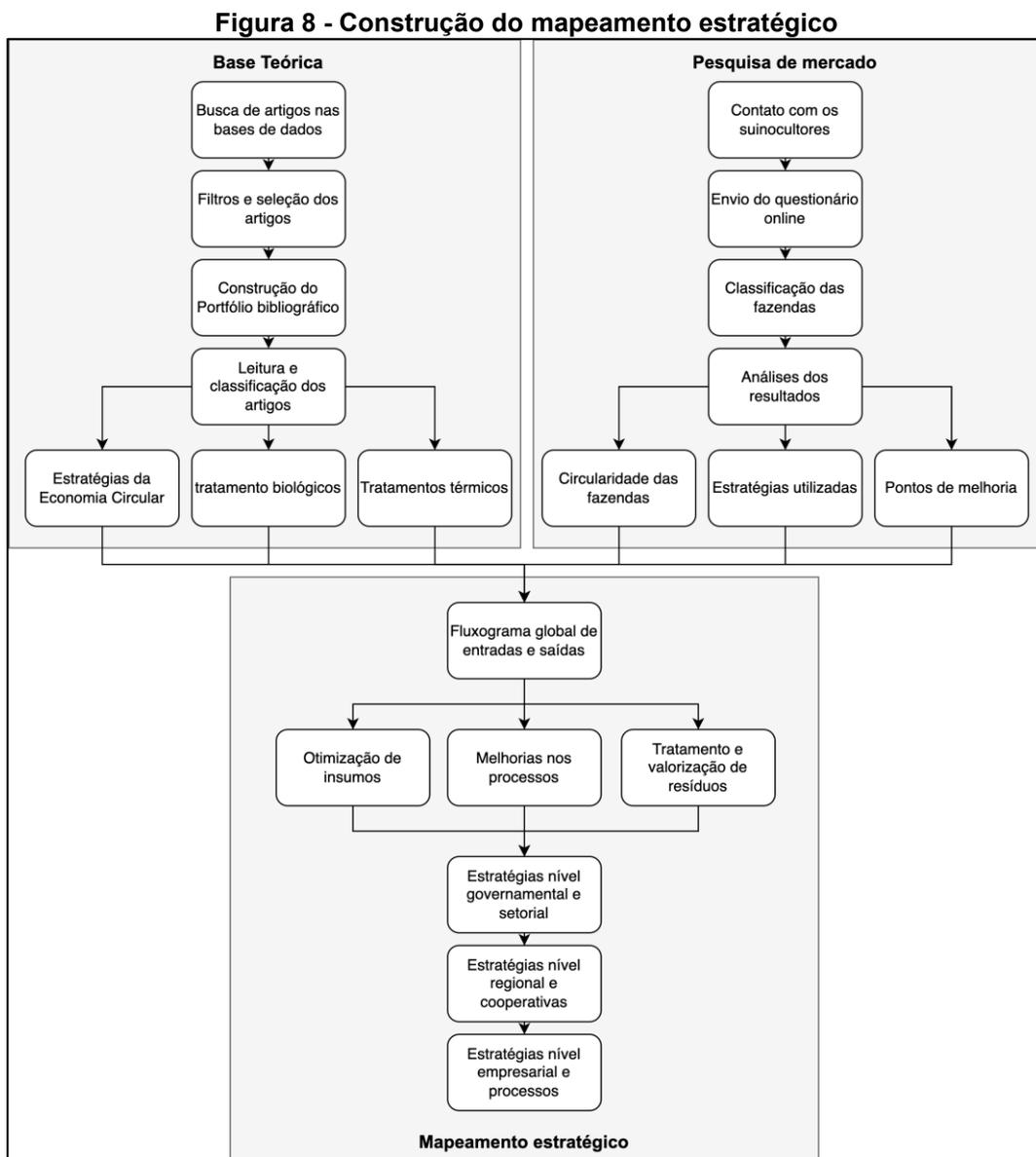
Uma vez concluídas as análises, as apurações foram descritas e apresentadas na seção de resultados e discussão (Capítulo IV), servindo como embasamento prático da realidade do setor para o desenvolvimento das próximas etapas deste estudo, apresentados na sequência. Além disso, foi desenvolvido um pequeno compilado dos resultados encontrados e construído um relatório para ser entregue aos participantes, parceiros e outros interessados no tema.

#### 2.2.4 Confeção do mapeamento estratégico (*roadmap*)

No último passo da metodologia foi desenvolvido um mapeamento estratégico de práticas da economia circular na suinocultura, bem como as potenciais tecnologias e processos sustentáveis que viabilizam a aplicação de técnicas circulares para este setor. O principal objetivo desse mapeamento foi identificar as possíveis áreas de desenvolvimento com potenciais resultados positivos, possibilitando assim uma maior eficiência das propriedades nas dimensões ambiental, econômico e social como um todo. As estratégias mapeadas foram divididas nos três níveis decisórios: macro, meso e micro, para o melhor enquadramento dos principais desafios e barreiras que precisam ser superados na transição para uma economia circular.

Esta etapa visou principalmente a consolidação dos resultados obtidos nas duas etapas anteriores (seção 2.2.2 e 2.2.3), ou seja, realizou-se a sistematização dos resultados encontrados na literatura sobre o desenvolvimento de novas tecnologias e suas aplicações, juntamente com a mensuração do grau de

conhecimento e aplicações das estratégias realizadas pelos suinocultores atualmente, conforme apresentado no fluxograma da Figura 8. Foi possível explorar as possíveis aplicações para a minimização de impactos ao meio ambiente e valorização ambiental dos resíduos gerados pelas fazendas, possibilitando uma análise sobre o grau de maturidade das tecnologias e a realidade das fazendas de acordo com o ambiente em que estão inseridas.



Fonte: Autoria própria (2023).

A construção do *roadmap* estratégico permitiu estabelecer as metas e objetivos a serem aplicados pelas fazendas suinícolas, com o foco no desenvolvimento de processos e melhoria da circularidade da fazenda, levando em

consideração todas as entradas de materiais, produtos e resíduos gerados na propriedade. Este mapeamento foi construído em forma de um guia visual no formato de fluxogramas de acordo com as características das propriedades e os níveis de implementação das estratégias no campo da suinocultura, visando tornar os processos da suinocultura e as propriedades suinícolas mais circulares.

No nível macro, foram delimitadas estratégias a nível governamental e setorial em busca de benefícios a serem alcançados pelas fazendas, buscou-se por estratégias para o desenvolvimento de políticas públicas, incentivos governamentais, regulamentações, desenvolvimento tecnológico, fatores de descarbonização, impactos ambientais e garantias de qualidade para o setor. Muitas dessas estratégias não estão no poder de decisão dos suinocultores diretamente, mas cabe aos interessados a formação de associações e federações nacionais que visam a reivindicação de atenção por parte do estado, uma vez que os resultados ambientais podem beneficiar toda a população e melhorar a sua imagem perante os *stakeholder*.

No nível meso, o fluxo desenvolvido está focado principalmente no aprimoramento de estratégias a nível interempresarial e na criação de cooperativas de colaboração entre as propriedades. Com o foco na maximização dos processos, recuperação de resíduos e benefícios econômicos, as aplicações neste nível estão relacionadas com sistemas de simbiose industrial, no qual visa a reutilização de subprodutos como matéria-prima em outros processos subsequentes, além de facilitar a construção de parques industriais para a recuperação e valorização dos recursos de forma mais rentável e ambientalmente correto.

Já no nível micro foi levado em consideração os delimitadores internos da fazenda e seus processos para a criação dos suínos, assim, foram identificados ações voltadas para os diferentes fluxos. Na entrada de materiais, as estratégias visam a redução da necessidade de novos recursos naturais como a redução do consumo de água, a dependência da energia de fontes fósseis e o aproveitamento nutricional. Nos processos de criação foi incluído práticas de gestão para alimentação e manuseio dos resíduos, possibilitando uma minimização dos impactos gerados nos sistemas intensivos. Por último, foram classificadas diferentes tecnologias para o tratamento do estrume, águas residuais e poluição atmosférica, proporcionando uma redução dos impactos ambientais e redução dos custos operacionais nas fazendas por meio da recuperação dos recursos.

Os fluxos do mapeamento foram projetados na ferramenta online Draw.io, uma plataforma gratuita disponibilizada como extensão do navegador do Google Chrome para a criação de fluxogramas. Assim, os fluxogramas gerados como resultado permitem uma visão mais abrangente das possibilidades de aplicação da economia circular em propriedades de suinocultura em diferentes níveis de aplicação de acordo com as características de cada produtor. A partir da visualização do *roadmap*, é possível seguir diferentes caminhos estratégicos de acordo com a necessidade de cada empresa de forma a garantir que a suinocultura possa estar alinhada com os princípios da economia circular e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Na seção de revisão da literatura buscou-se apresentar de forma mais concisa os conceitos encontrados a partir da construção do portfólio bibliográfico, publicações externas e dados de instituições renomadas que pesquisam sobre essa temática. Constituiu-se uma base teórica sobre as principais áreas de pesquisa: economia circular, suinocultura e produção de energia, apresentadas nos subtópicos a seguir.

#### 3.1 Economia circular

O termo economia circular já vem sendo discutido por pesquisadores desde 1966, um dos exemplos foi o economista ecológico *Boulding* que apresentou indícios da necessidade de se construir uma economia que transformasse o ciclo de vários recursos para um modelo circular, por meio da reciclagem, o fechamento do ciclo e a vinculação de saídas de produção como insumos a novos processos, tal modelo também visava a redução do uso de recursos naturais e uma mudança na atitude de consumo da população (ZHONG *et al.*, 2012; UVAROVA; ATSTAJA; KORPA, 2020). Por outro lado, novas discussões foram adicionadas quando Pearce e Turner questionaram a linearidade dos sistemas econômicos tradicionais em 1989, trazendo importantes debates políticos sobre a construção de uma economia circular para lidar com problemas de esgotamento dos recursos naturais, sendo apresentado como um novo modelo econômico mais sustentável (SALVIA; ANDREOPOULOU; QUARANTA, 2018).

Desde a revolução industrial, a economia mundial vem crescendo em um padrão de *"take-make-consume-dispose"*, ou seja, adquirir, produzir, consumir e descartar excessivos recursos naturais no pressuposto de que são infinitos, abundantes, disponíveis e de fácil descarte (YAZAN *et al.*, 2018). Esse modelo tem sido duramente criticado devido a sua insustentabilidade, uma vez que segue o pensamento de uma economia linear dos fluxos de materiais. Com isso, a Economia circular (EC) pode ser proposta como uma solução para os problemas que vêm sendo causados por esse modelo, sendo apresentada como um sistema renovável e regenerativo que busca melhorar o ciclo dos produtos através do design de materiais, produtos, processos e modelos de negócios de forma eficiente e sustentável (KAYIKCI *et al.*, 2021).

O modelo de Economia circular possui diversos conceitos, contudo, em sua essência tem como objetivo preservar o valor dos produtos, materiais e recursos por um maior período, possibilitando a sua reinserção ao ciclo de produção de forma a reduzir a quantidade de resíduos gerados (MUIZNIECE *et al.*, 2019; UVAROVA; ATSTAJA; KORPA, 2020). Assim, a Economia circular surge justamente ao oposto do conceito tradicional de economia linear, trazendo a essência da ecologia industrial e promovendo um modelo de produção de ciclo fechado. Este modelo garante uma maior autonomia e eficiência do sistema quanto ao uso de recursos naturais e os impactos causados (NOYA *et al.*, 2017).

Deste modo, a economia circular busca substituir a lógica de “fim de vida” dos recursos, visando criar um ambiente de prosperidade econômica e equidade social, no qual possibilita gerar benefícios tanto para as gerações atuais como futuras. Esse modelo leva em consideração a possibilidade de reaproveitamento, processamento e regeneração dos produtos de forma mais eficiente, uma vez que consomem menos energia quando comparado com os processos de reciclagem convencional de materiais de menor qualidade (KOWALSKI; MAKARA, 2021).

Esse sistema está baseado no desenvolvimento de estratégias que otimizam o fluxo contínuo dos materiais e preservam o capital natural, possibilitando uma melhor administração dos recursos renováveis e não renováveis visando a maximização dos lucros e redução dos riscos ambientais. Diversos estudos têm mostrado que a redução do uso de novas matérias-primas é uma das abordagens mais eficazes para o controle dos resíduos gerados pela economia linear, entretanto ainda há alguns desafios e barreiras a serem ultrapassados para que sejam alcançados resultados satisfatórios, uma vez que exige uma mudança nos padrões de produção e consumo atuais (STOKLOSA; KOWALSKI; MAKARA, 2019).

A transição para uma Economia circular requer diversas mudanças em várias áreas de produção e consumo, uma das estratégias mais promissoras é o *design* de produto, no qual visa o desenvolvimento de produtos considerando o seu reuso mesmo após o descarte, dessa forma é demandado a concepção de produtos fabricados com materiais que possam ter uma maior durabilidade e fácil reciclagem, além da possibilidade a aplicação de novas funcionalidades que facilitam o seu reuso e reaproveitamento em outras atividades. Além disso, essa mudança para o modelo circular impacta as esferas econômica, política e social de uma região, uma vez que visa o desenvolvimento de novas tecnologias para o tratamento e reciclagem de

resíduos e mudanças no comportamento do consumidor por meio de uma maior conscientização dos benefícios ambientais (SALVIA; ANDREOPOULOU; QUARANTA, 2018).

A Economia circular também é vista como uma solução para problemas ambientais e mudanças climáticas, oferecendo oportunidades para a redução da pegada ambiental dos produtos, menor consumo de materiais e melhorias na recuperação de resíduos (RUKUNDO *et al.*, 2021; UVAROVA; ATSTAJA; KORPA, 2020). O desenvolvimento de estratégias circulares também podem promover benefícios econômicos para o negócio, permitindo uma melhor cooperação entre empresas em busca da troca de conhecimento, melhor rastreabilidade dos materiais, eficiência logística e aumento do uso de energia renovável nos diversos processos produtivos (KOWALSKI; MAKARA, 2021)

Entre as estratégias da economia circular pode-se destacar a busca pelo desenvolvimento sustentável, produção mais limpa, consumo consciente e proteção ambiental, além do reaproveitamento e reutilização de resíduos (SECCO *et al.*, 2020). Um dos principais desafios deste novo modelo econômico está atrelado aos problemas ambientais e de poluição, uma vez que deve ser considerado os aspectos de eficiência econômica e a minimização dos impactos ambientais simultaneamente (XUE; WANG; MA, 2018).

O avanço de novas tecnologias baseadas no desenvolvimento de uma economia mais circular pode trazer grandes benefícios sociais para a população em geral, contudo, ainda há diversas barreiras culturais a serem superadas, principalmente devido à falta de interesse e conscientização da população quanto aos problemas ambientais enfrentados atualmente, uma vez que se torna necessário uma transformação no consumo e na introdução de novos conceitos de materiais ecológicos (KOWALSKI; MAKARA, 2021). A crescente conscientização da população sobre o uso sustentável de recursos torna a economia circular ainda mais importante, uma vez que está atrelada à escassez de fontes não renováveis, ao aumento da população e aos desafios ambientais e climáticos causados pelas ações humanas (MUIZNIECE *et al.*, 2019).

Recentemente, a abordagem circular tem sido bastante promovida por entidades e formuladores de políticas públicas, uma vez que o desenvolvimento de normas e regulamentações devem ser o principal fator de condução para uma transição econômica mais eficiente. Assim, visam possibilitar o desenvolvimento de

um fluxo contínuo de materiais técnicos e biológicos no ciclo de valor dos produtos, evitando o desperdício e valorizando os materiais que podem ser reutilizados (DONNER *et al.*, 2021). No entanto, nota-se que o conceito ainda vem sendo discutido maioritariamente apenas em escala global, no qual faltam discussões científicas sobre os princípios da circularidade em uma abordagem a nível empresarial, e, conseqüentemente a construção de estratégias e incentivos para o avanço econômico a nível local e regional (UVAROVA; ATSTAJA; KORPA, 2020).

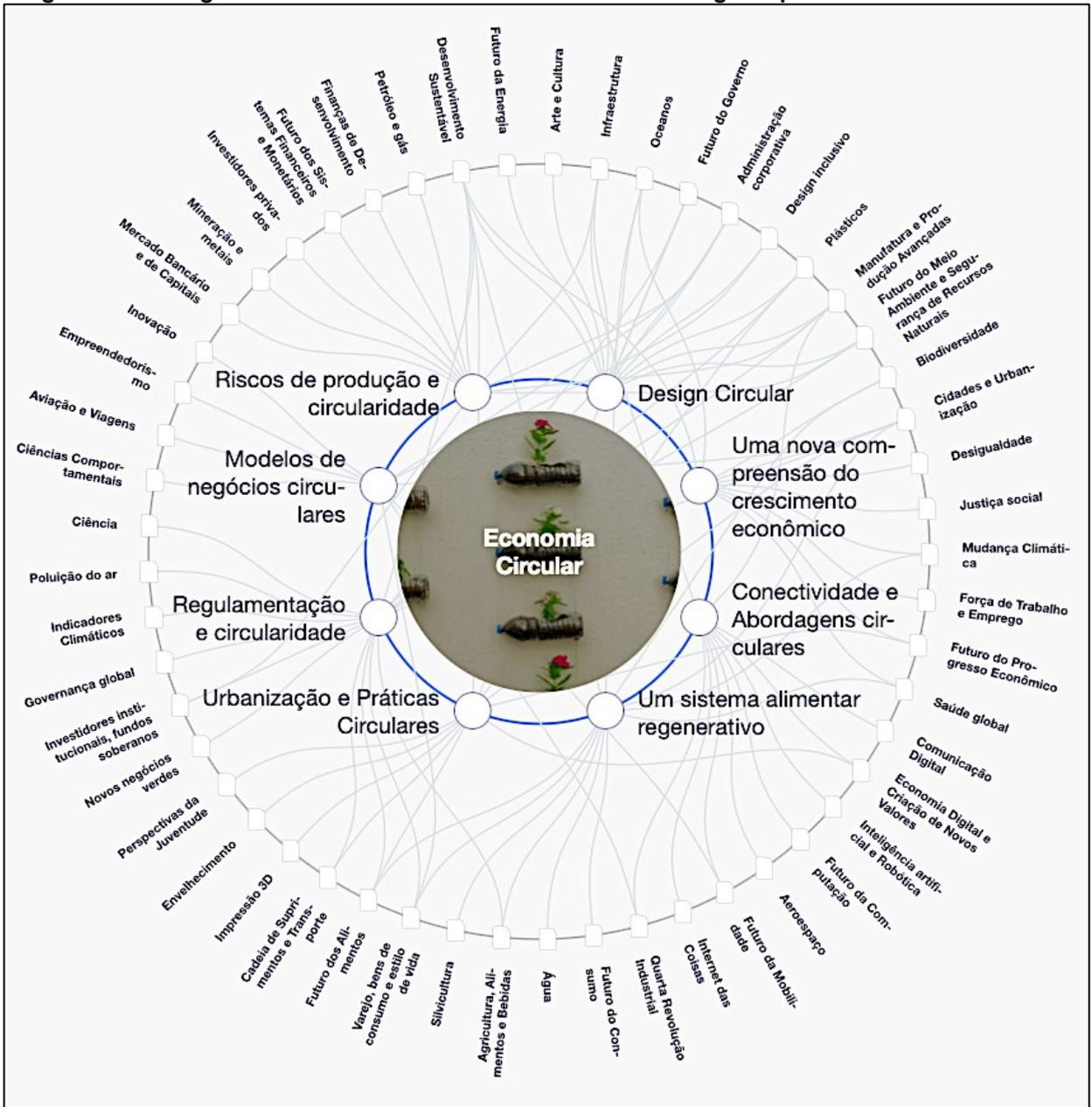
Atualmente, existe uma grande motivação para uma transição da economia para sistemas circulares como uma abordagem de gestão eficaz para reduzir impactos ambientais, recuperar recursos e otimizar os processos. No entanto, a avaliação da circularidade se torna essencial para a mensuração e quantificação dos resultados positivos em busca da eficiência de recursos. Assim, analisar a produção a partir da perspectiva da economia circular permite identificar estratégias para a mitigação da pegada ambiental, aumento da eficiência de recursos e recuperação, reciclagem e reutilização de resíduos. Embora haja esforços para essa transição, ainda não há consenso comum sobre o monitoramento e avaliação do progresso rumo a uma economia circular (REBOLLEDO-LEIVA *et al.*, 2022; RUKUNDO *et al.*, 2021).

A Fundação Ellen MacArthur (EMF) (2019), identificou quatro categorias principais para avaliação da circularidade econômica composta pelo CECA (Categorias de Avaliação da Circularidade Econômica), sendo elas: (1) produtividade dos recursos; (2) atividades circulares; (3) produção e redução de resíduos; e (4) emissões de energia e gases de efeito estufa. Esses indicadores buscam avaliar o desempenho econômico, impactos econômicos indiretos, criação de novos empregos, saúde e segurança ocupacional, avaliação de fornecedores para impactos na sociedade, gestão de efluentes e biodiversidade (RUKUNDO *et al.*, 2021).

De acordo com o Fórum Econômico Mundial (WEF) (2023), as ideias e aplicações da economia circular estão associadas a pelo menos oito estratégias essenciais para o desenvolvimento econômico, sendo elas: design circular; nova compreensão do crescimento econômico; conectividade e abordagens circulares; sistemas agroalimentares regenerativos; urbanização; regulamentação; novos modelos de negócios circulares; e riscos de produção. Essas estratégias podem estar relacionadas com diferentes setores industriais e governamentais em busca de vantagens competitivas em prol da sustentabilidade, sendo alguns dos principais destaques o desenvolvimento de infraestrutura, conservação dos oceanos, design,

economia dos plásticos, cidades e urbanização, mudanças climáticas, saúde, tecnologia, mobilidade, consumo, água, agricultura e pecuária, cadeias de suprimentos, transporte, novos negócios verdes, governança, inovação, extração de recursos naturais, petróleo e gás, energia, desenvolvimento sustentável, entre outros, conforme apresentado na Figura 9.

**Figura 9 - Abrangência da economia circular nas áreas estratégicas para o desenvolvimento**



Fonte: Fórum Econômico Mundial (2023).

Deste modo, a aplicação da economia circular em diferentes processos visa redesenhar a indústria para o desenvolvimento de novas infraestruturas inovadoras, como energia renovável, água circular e gerenciamento de resíduos/recursos, logística reversa, pesquisa e inovação e outros, com o foco em tornar as cadeias de suprimentos mais resilientes e sustentáveis. (KAYIKCI et al., 2021). Essa abordagem abrangente pode ser muito bem aplicada em áreas rurais, onde fornece uma metodologia no qual podem direcionar esses territórios rumo ao desenvolvimento sustentável dos processos e atividades da agricultura e pecuária, auxiliando na construção de um modelo de negócio mais resistente e vantajoso no âmbito sustentável (SALVIA; ANDREOPOULOU; QUARANTA, 2018).

Os desafios enfrentados pelas áreas rurais são mais complexos do que as questões apenas ambientais e precisam de uma abordagem mais ampla da economia circular, relacionada às melhorias nos processos e ao gerenciamento de resíduos em busca da minimização dos impactos causados pelo modelo linear. Os conceitos da circularidade no desenvolvimento rural estão diretamente relacionados com a regeneração dos recursos, visando a transição dos padrões de produção e consumo, a fim de minimizar o impacto ambiental e o uso dos recursos naturais. Entre as principais estratégias para esse novo modelo econômico, o meio rural adapta-se especialmente em novos parâmetros para a reintrodução de recursos pouco utilizados em novos processos, baseado na valorização dos recursos internos e na criação de redes sustentáveis. Além disso, é fundamental que os objetivos da circularidade sejam claramente estabelecidos como o motor para o desenvolvimento rural e que a inovação seja amplamente adotada para permitir uma verdadeira mudança do sistema (SALVIA; ANDREOPOULOU; QUARANTA, 2018).

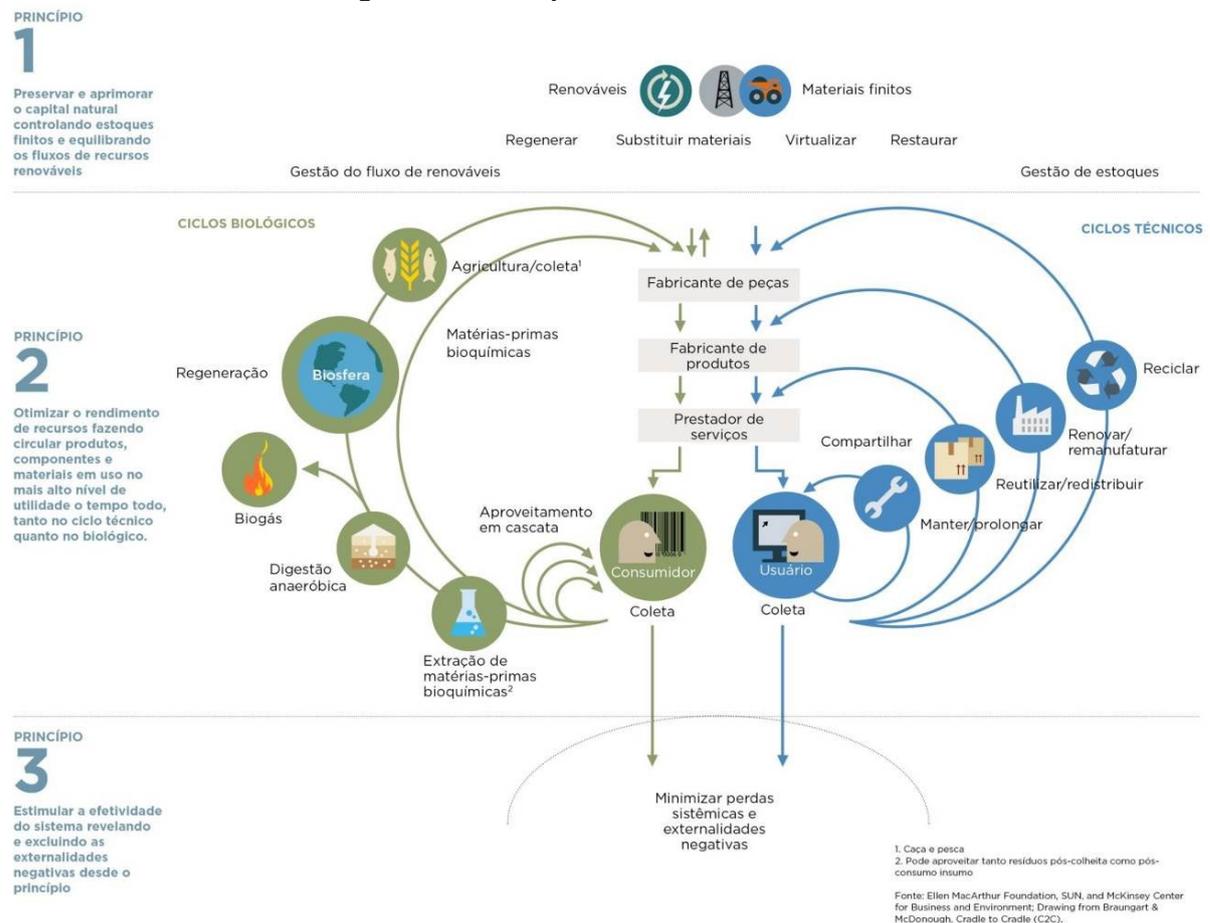
### 3.1.1 Princípios da economia circular

O intuito da economia circular é garantir os fluxos aprimorados de bens e serviços, através da reconstrução de capital em um sistema restaurador e regenerativo, para isso utiliza-se três princípios básicos para a transição do modelo linear para o circular, sendo eles: preservação do capital natural, otimização do rendimento de recursos e eliminação de externalidades negativas (EMF, 2017).

O modelo de desenvolvimento de estratégias de economia circular pode ser diferenciado por dois ciclos (EMF; GRANTA; LIFE, 2019), conforme demonstrado na Figura 10, sendo eles:

- 1) Ciclos biológicos: visa principalmente o desenvolvimento de processos de regeneração dos sistemas naturais, quando os materiais e produtos orgânicos são devolvidos à bioeconomia por meio do fechamento dos ciclos biológicos;
- 2) Ciclos técnicos: visa principalmente o desenvolvimento de processos de reparo, manutenção, reutilização, remodelação, remanufatura e reciclagem dos produtos e componentes, com o objetivo de manter os materiais no mercado com a mais alta qualidade possível, atrelado à ampliação do ciclo de vida do produto.

**Figura 10 - Princípios da economia circular**



**Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2017).**

O primeiro princípio baseia-se em preservar e melhorar o patrimônio natural, isso significa que há necessidade de um controle rigoroso dos estoques de materiais e extração de recursos a partir de reservas finitas, além de manter um equilíbrio dos fluxos de recurso renovável (CANU, 2017). Para atingir os objetivos do primeiro

princípio, a economia circular tem como estratégia a aplicação do *design out*, ou seja, os produtos são projetados em um ciclo no qual o processo de descarte ou até mesmo a reciclagem não são prioridades iniciais, sendo imprescindível o desenvolvimento de produtos que sejam fáceis de ser desmontado e reutilizado (EMF, 2013).

Nesse princípio o objetivo está voltado especialmente para os resíduos e poluição atual, que podem ser aprimoradas de acordo com a aplicação de estratégias de regeneração, substituição, virtualização e restauração dos materiais. Assim, a economia circular projeta tendências para o desenvolvimento de soluções aos impactos que causam danos à saúde humana e aos sistemas naturais, tais práticas inclui respostas para a liberação de gases do efeito estufa, substâncias perigosas, poluição do ar, solo e água, além de outros resíduos gerados (EMF; GRANTA; LIFE, 2019).

O segundo princípio consiste em apresentar a diferença entre componentes de consumo duráveis e não duráveis. Este conceito inclui o retorno de produtos biológicos não tóxicos para a biosfera ou para reutilização em outros objetos, como em motores ou computadores (EMF, 2013). Em consequência da reutilização há redução ou até mesmo a eliminação de fatores negativos em diversas áreas, como na alimentação, mobilidade, saúde e lazer, além de controlar o uso de água e energia, e despejo de substâncias tóxicas (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

Este conceito visa manter os produtos e materiais por um maior tempo de uso, seja através do prolongamento do ciclo de vida ou na reutilização dos materiais em outros processos. Assim, a economia circular tem como princípio manter o valor dos recursos em forma de energia, trabalho e materiais, ou seja, possibilita projetar uma maior durabilidade, reutilização, remanufatura e reciclagem dos materiais, de forma a manter-se circulando na economia por vários ciclos. Por exemplo, os materiais de base biológica, podem ser direcionados para diferentes usos antes do descarte dos nutrientes à natureza, de forma a aumentar os ganhos na produção e reduzir os custos (EMF; GRANTA; LIFE, 2019).

Já o terceiro princípio ressalta a necessidade de energia para manter o ciclo do produto, esta deve ser renovável e possuir o menor impacto ao meio ambiente, possibilitando reduzir a dependência de recursos naturais e excluir as externalidades negativas desde o princípio, além de minimizar as perdas sistêmicas do processo (EMF, 2013). Assim, esse princípio visa a regeneração dos sistemas naturais, no qual

evita o uso de recursos não renováveis e preserva ou melhora os renováveis (EMF; GRANTA; LIFE, 2019).

O desenvolvimento dos princípios da economia circular em uma cadeia de produção pode trazer diversos benefícios para os processos, qualidade nos produtos, melhorias na saúde e bem-estar humano e preservação do ecossistema. Dessa forma, a aplicação de conceitos da economia circular visa a elaboração das seguintes estratégias: redução da quantidade de fontes de resíduos; reciclagem e reutilização de materiais; recuperação de energia e materiais; tratamento de resíduos; armazenamento de resíduos; e regeneração, compartilhamento e otimização dos ciclos (STOKLOSA; KOWALSKI; MAKARA, 2019).

Em um contexto empresarial, a aplicação de conceitos da economia circular vem sendo cada vez mais adotado como estratégia de negócios, no qual permite a geração de valor adicional aos produtos e materiais antes do descarte como resíduos. Além dos benefícios financeiros, a economia circular também traz impactos positivos para a saúde humana e o meio ambiente, como ar mais limpo, menor congestionamento e alimentos mais saudáveis, contribuindo assim para enfrentar alguns dos maiores desafios globais (EMF; GRANTA; LIFE, 2019).

### 3.1.2 Níveis de implementação da economia circular

O desenvolvimento da economia circular como um novo sistema econômico parte do princípio de grandes mudanças sociais e da reformulação do consumo, visando desde a criação de sistemas de produção inovadores até alternativas para a reutilização dos resíduos (DONNER *et al.*, 2021). Com o objetivo de substituir o conceito de "fim de vida" dos materiais, a aplicação da economia circular em um setor visa apoiar o desenvolvimento sustentável em benefício das gerações futuras, para isso é essencial a utilização de estratégias como: redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais de toda a cadeia de produção (RUKUNDO *et al.*, 2021).

A economia circular pode estar presente em três níveis na economia: micro, meso e macro. O nível micro atua desde o modelo de consumo da população até o desenvolvimento de novos produtos e inovações empresariais. O nível meso está relacionado com os parques industriais e eco indústrias, ou seja, o desenvolvimento de estratégias de colaboração entre empresas e outros negócios por meio da simbiose industrial. Já o nível macro abrange cidades, regiões, nações e multinacionais como um todo, envolvendo leis, incentivos e outras estratégias governamentais

(KOWALSKI; MAKARA, 2021). Dessa forma, a Figura 11 apresenta algumas das estratégias da economia circular para os três níveis de desenvolvimento.

**Figura 11 - Estratégias da economia circular em cada um dos níveis estratégicos**



**Fonte: Uvarova; Atstaja; Korpa, (2020).**

O início da transição para este novo modelo econômico ocorre quando se utiliza uma abordagem de baixo para cima, ou seja, são aplicadas estratégias a nível de uma pequena região, de forma a estimular o seu desenvolvimento de acordo com suas capacidades e recursos disponíveis, para posterior ampliação ao nível nacional e internacional (MUIZNIECE *et al.*, 2019). O principal promotor para o desenvolvimento deste nível são as empresas transformadoras, no qual viabilizam o avanço de estratégias e produção de novas tecnologias, com o foco na melhoria da circularidade do sistema produtivo em que está inserida. Essas empresas colaboram economicamente com o ciclo de produção mais eficiente para o abastecimento sustentável, aplicando estratégias de produção mais limpa, consumo verde, reciclagem, reuso e outros (STOKLOSA; KOWALSKI; MAKARA, 2019).

Para o nível micro, a Fundação Ellen MacArthur (2015), enfatiza seis ações destinadas a empresas e consumidores para serem adotadas nesta esfera em busca de uma transição para economia circular, são elas: regenerar, compartilhar, otimizar, fechar o ciclo, virtualizar e trocar. A ação de regenerar se refere à capacidade de utilização de matérias-primas renováveis e biodegradáveis na produção de bens e serviços novos. A atividade de compartilhar tem como objetivo o uso conjunto de bens e serviços pela sociedade. A ação de otimizar se refere à otimização dos recursos utilizados na produção de bens e serviços, como o desenvolvimento de processos produtivos mais eficientes. O fechamento do ciclo está relacionado à capacidade de

fechar os ciclos de vida com o foco na reciclagem e reutilização de materiais. A ação de virtualizar se refere à capacidade de desmaterializar bens e serviços gerando mais transparência aos processos. Por fim, a ação de trocar se refere à possibilidade de substituição dos materiais utilizados e transformação do consumo no fim da vida útil.

Quanto ao nível mesoeconômico, busca-se uma abrangência regional a partir da colaboração entre as empresas de um mesmo setor ou com recursos em comum, está relacionado com o desenvolvimento de parques industriais ecológicos e redes de produção compartilhadas (STOKLOSA; KOWALSKI; MAKARA, 2019). O principal objetivo do desenvolvimento destes ecoparques está na otimização dos processos e melhoria na eficiência do uso de recursos, visando a redução de custos e minimização dos impactos ambientais, garantindo a simbiose industrial entre as empresas da região (DONNER *et al.*, 2021).

De modo a obter vantagens econômicas e ambientais entre as empresas, a simbiose industrial faz com que as entidades pertencentes ao ecoparque possam realizar operações que envolvam complexas interações de troca de recursos, como por exemplo: compartilhamento de materiais e subprodutos para reutilização em novos processos, reaproveitamento de águas residuais, compartilhamento de fontes de energia, tratamento de resíduos e troca de informações / conhecimento (STOKLOSA; KOWALSKI; MAKARA, 2019). Além disso, as conexões entre as empresas proporcionam um ambiente com foco na inovação e desenvolvimento de modelos de negócio circulares, garantindo expertise ambiental, responsabilidade social, estrutura jurídica sólida, novos mercados, técnicas de negociação e elaboração de estratégias (UVAROVA; ATSTAJA; KORPA, 2020).

O nível macro de aplicação da economia circular envolve estratégias no âmbito governamental e aplicações com abrangência internacional, tendo como foco principal o desenvolvimento cidades, províncias e regiões por meio de políticas, regulamentações, projetos de incentivo e conscientização. Algumas das estratégias para o nível macro estão relacionadas com melhorias do processo de interação entre os ecoparques regionais, promoção da simbiose urbana, desenvolvimento de ecocidades, consumo colaborativo, programas de zero resíduos e elaboração de políticas públicas. Além disso, visa-se avaliar alguns indicadores a nível macro para o acompanhamento de estratégias e feedbacks a nível econômico, evidenciando o aumento da eficiência da economia e o produto interno bruto (PIB) (GHISELINI; CIALANI; ULGIATI, 2015).

O avanço das ações de economia circular no nível macro afetam principalmente quatro setores, sendo eles: (1) sistema industrial, no qual visa a redução da poluição das empresas, supressão de atividades altamente poluidoras e o desenvolvimento de tecnologias para setores estratégicos; (2) sistema de infraestruturas, como melhorias na prestação de serviços municipais, transporte mais eficientes, reaproveitamento de águas e fontes de energia renováveis; (3) quadro cultural, implementação de novas formas de consumo, conscientização da população e incentivos sobre os benefícios da economia circular; e (4) sistema social, no qual visa a criação de novos empregos e leis trabalhistas, melhorias no sistema educacional, qualidade de vida e novas fontes de renda (GHISELINI; CIALANI; ULGIATI, 2015).

Quando direcionado para o setor agroindustrial, os três níveis de implementação da economia circular podem tomar proporções um pouco distintas, assim, o nível micro pode abranger uma propriedade rural unitária auxiliando na avaliação em termos de material e energia, já o nível meso engloba uma associação de fazendas com diferentes atividades colaborativas entre si, e o nível macro é demarcado por regiões e cooperativas industriais em prol do benefício próprio do setor (BARROS, 2019).

### 3.1.3 Estratégias de aplicação da economia circular

O desenvolvimento e implementação de estratégias para a transição para economia circular envolve vários promotores, como: governos, empresas, academia e a população em geral. Com isso, a alta performance da economia circular é vista como uma tarefa complexa, onde envolve diversas ações em diferentes áreas que impactam a cadeia de suprimentos de forma direta e indireta. Assim, foram identificados quatro fatores estratégicos no qual viabilizam a promoção de modelo econômico mais circular, apresentados a seguir (EMF, 2017).

O primeiro conceito estratégico está baseado no design circular, ou seja, deve-se priorizar o desenvolvimento de produtos que facilitam o reuso e reciclagem em múltiplos ciclos, com o auxílio de um pensamento a longo prazo. Essa estratégia envolve desde a seleção de materiais com maior durabilidade, passando por uma reengenharia do processo de fabricação, conscientização para reutilização, até a reintrodução dos resíduos em outros processos que agregam novas utilidades aos recursos (EMF, 2017).

Além disso, a evolução para uma economia circular também depende do desenvolvimento de novos modelos de negócios inovadores, a fim de explorar novas oportunidades de produção e formas de consumo. Essa segunda estratégia visa principalmente explorar a capacidade de se reinventar e transformar a cadeia de valor de produtos em negócios mais rentáveis e circulares, promovendo uma expansão geográfica para demais localidades (EMF, 2017).

O terceiro ponto estratégico envolve a construção de ciclos reversos mais sustentáveis, fundamentados no aprimoramento de processos para uma cadeia de suprimentos mais circular. Este ciclo está diretamente relacionado com os conceitos de logística reversa e logística verde, no qual viabilizam o transporte, separação, armazenamento, reutilização e reciclagem dos materiais de forma mais ecológica, além de garantir uma melhor gestão de riscos ambientais e a geração de energia a partir dos resíduos, uma vez que reforça o ciclo de vida útil dos produtos e a reintrodução desses materiais em novos processos (EMF, 2017).

O quarto fator estratégico para o desenvolvimento da economia circular está relacionado com a capacidade de desenvolvimento de condições sistêmicas, no qual viabilizam o desenvolvimento e avanços a nível setorial. Para a transição econômica é essencial um ambiente de colaboração entre os diferentes eixos, como: incentivos governamentais e empresariais, regulamentações ambientais adequadas, acesso a financiamentos, desenvolvimento de tecnologias, instituições de ensino e pesquisa, políticas públicas e formadores de opinião (EMF, 2017).

O modelo de economia circular pode desenvolver diversos benefícios ambientais e econômicos, diminuindo a pressão sobre a poluição ambiental e transformando as externalidades negativas em vantagens empresariais. Este modelo também visa conectar a logística dos resíduos baseada no princípio dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar) em busca de benefícios econômicos, ambientais e sociais, combinado com o desenvolvimento regional e maior eficiência na produção e consumo de bens materiais (XUE; WANG; MA, 2018).

Uma extensão do conceito anterior, considerando uma forma mais abrangente para a circularidade em uma cadeia de produção, está relacionado com o princípio dos 6R's, onde visa a remodelação, redesenho, redução, reciclagem, reutilização e recuperação dos materiais antes do descarte final, todos esses fatores podem oferecer benefícios para o fechamento do ciclo de desperdícios ao longo da cadeia (KAYIKCI *et al.*, 2021).

Outra estratégia para a aplicação da economia circular é o conceito de Produção mais Limpa (P+L), no qual proporciona uma melhor eficiência de recursos e a redução dos impactos ambientais na produção. O objetivo dessa estratégia está em melhorar a associação entre os diferentes processos da empresa, seja de forma ambiental, na introdução de novos produtos ou no desenvolvimento de processos menos agressivos ao meio ambiente, possibilitando a redução de desperdícios e emissões. A P+L também possui uma abordagem holística em que visa proporcionar benefícios ambientais e econômicos para as empresas, uma vez que minimiza os resíduos gerados e seus custos de descarte (KOWALSKI; MAKARA, 2021).

A elaboração de estratégias da economia circular também está relacionada com o princípio da ecoeficiência, uma vez que esse conceito visa maximizar a eficiência no uso de recursos e energia, e ao mesmo tempo busca por melhorias ambientais e benefícios econômicos paralelos. Trata-se de uma abordagem que possibilita a integração da eficiência ecológica e econômica nas atividades empresariais, a fim de promover a utilização mais responsável e sustentável dos recursos naturais, além de minimizar os impactos negativos, resíduos gerados e emissões atmosféricas dos processos produtivos (OUNSANEHA *et al.*, 2018).

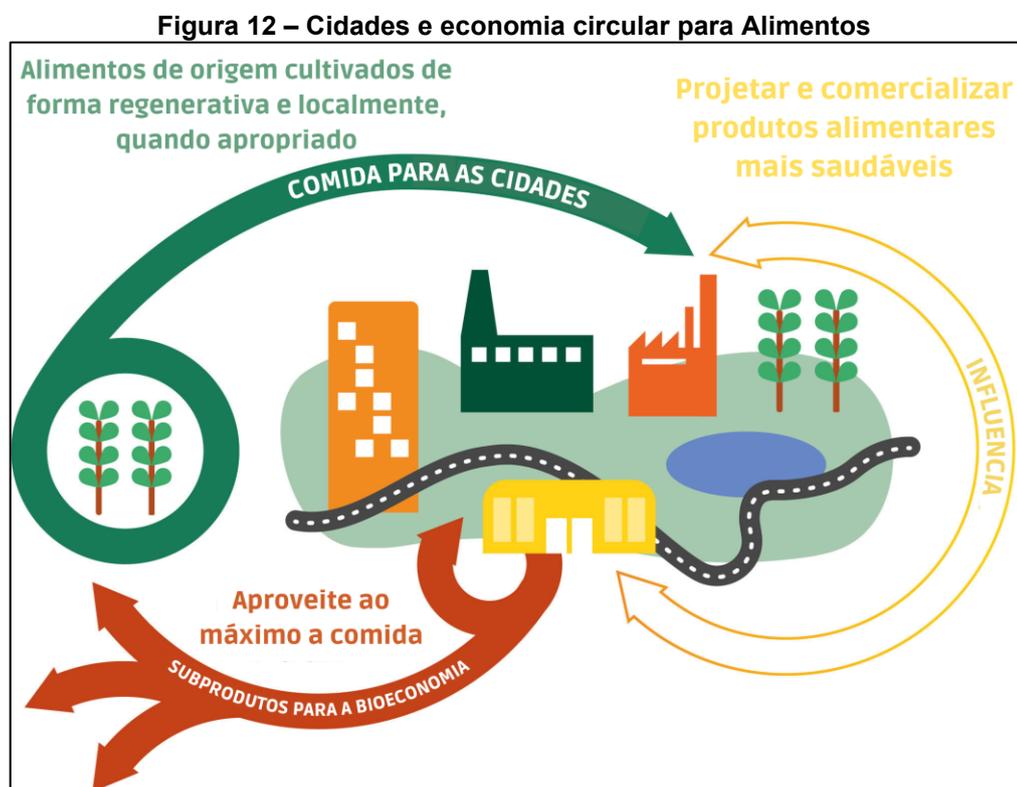
A estratégia relacionada com a bioeconomia pode ser definida como a produção, utilização e conservação de recursos biológicos, bem como a gestão do conhecimento, ciência, tecnologia e inovação, a fim de fornecer bens e serviços em uma economia sustentável (CALICIOGLU; BOGDANSKI, 2021). Essa estratégia pode trazer benefícios para uma economia circular de modo a desenvolver a valorização de resíduos e subprodutos, especialmente em sistemas agrícolas e pecuária mais sustentável, além disso, a bioeconomia auxilia a criação de novos modelos de negócio de indústrias de base biológica e produtos mais sustentáveis (LAINEZ *et al.*, 2018).

A efetiva transição para economia circular deve ocorrer a partir de uma colaboração efetiva entre negócios (empresas, fornecedores e clientes), governo e academia. Deste modo, há algumas áreas prioritárias que podem ser estratégicas para o envolvimento inovador e colaborativo entre setores em busca de uma economia circular, como: *New Plastics Economy* (desenvolvimento circular para o setor de plásticos), *CE 100* (iniciativa global para acelerar a transição para Economia circular), *Make Fashion Circular* (desenvolvimento da economia circular para o setor têxtil e moda), *Cities and Circular Economy for Food* (estratégias para o desenvolvimento sustentável de cidades e segurança alimentar), Mudanças Climáticas, Educação e

*Disruptive Innovation* (desenvolvimento de inovações de produtos e novos mercados) (EMF, 2017).

No caso do setor agroalimentar, é cada vez mais notável que o sistema atual de cultivo e processamento de alimentos é prejudicial ao meio ambiente, à saúde e à segurança alimentar, uma vez que a produção atual não atende as necessidades de toda a população que está em constante aumento. O consumo em excesso de alimentos não saudáveis prejudica não somente a saúde humana, mas também a intensa extração de recursos finitos ao qual serve como insumos para a produção de alimentos (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

Dessa forma, as cidades têm um papel importante para começar a mudar esse cenário, a partir da produção atual e de como esses alimentos deverão ser produzidos no futuro cada vez mais próximo. Para chegar a esse objetivo, a Fundação Ellen MacArthur (2019), identifica três objetivos principais que ajudam empresas, governos e cidades a alcançarem um novo sistema agroalimentar sustentável, no qual os alimentos passam a participar de sistema regenerativo dentro da economia circular. Tais conceitos são ilustrados na Figura 12, apresentada no relatório “Cidades e economia circular para Alimentos” publicado pela Fundação Ellen MacArthur (2019).



Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2019).

A primeira estratégia para o sistema alimentar está relacionada diretamente com a fonte de cultivo dos alimentos, sendo essencial o desenvolvimento de um sistema regenerativo e local em busca de melhores práticas alimentares e de produção. Dado o momento em que as cidades interagem com os produtores ao seu redor, os tornam catalisadores ativos a partir de práticas agrícolas sustentáveis no qual fornecem alimentos para a população levando em consideração o menor impacto ao ambiente causado. Alguns exemplos são agroecologia, pasto rotativo, agrossilvicultura, agricultura de conservação e permacultura (EMF, 2019; WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

A segunda ação visa tornar o fornecimento e consumo de alimento nas cidades mais viáveis, a partir da concepção de sistemas alimentares regenerativos no qual todos os alimentos podem ser bem aproveitados, tendo em vista que as cidades são o último destino antes do consumo. Desse modo, as cidades têm autonomia para usarem os subprodutos dos alimentos de diversas formas e com seu mais elevado valor, combatendo a insegurança alimentar familiar, melhorando o armazenamento de alimentos ou transformando-os em fertilizantes orgânicos. Assim, visa-se a conversão de cidades em grandes centros de bioeconomia próspera a partir do desenvolvimento de ciclos circulares de produtos que não foram consumidos, sendo uma essencial fonte de nutrientes e energia para outros processos (EMF, 2019; WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

A última prática a ser adotada pelas cidades, mas não menos importante, é projetar e comercializar produtos mais saudáveis, uma vez que dentro do sistema alimentar regenerativo os alimentos não são apenas saudáveis no seu valor nutricional, mas também na maneira em que são produzidos. Para que isso aconteça, é necessário trabalhar o design e o marketing dos alimentos para tornar os processos de produção saudáveis mais apreciados. Dessa forma, torna-se essencial colaboração de diversas marcas de alimentos, produtores, varejistas, governos municipais, gestores de resíduos e outros atores alimentares urbanos para o desenvolvimento da sustentabilidade e economia circular (EMF, 2019; WORLD ECONOMIC FORUM, 2019).

O sistema alimentar atual consome muitos recursos, é poluente, pouco sustentável e gera muitos desperdícios. Somente desenvolvendo uma economia circular para o sistema alimentar será possível apoiar a projeção da população de 9,7 bilhões de pessoas em 2050. E para que isso ocorra, é necessário mudar as formas

de cultivo, extração de insumos, tratamento de resíduos, alimentação e o descarte de alimentos para um sistema mais sustentável, visando o benefício da população como um todo, incluindo o meio ambiente e recursos naturais (PACE, 2018).

Dessa forma, para se alcançar os objetivos efetivos e sustentáveis dos sistemas agroalimentares circulares, é necessário a pesquisa e desenvolvimento de estratégias inovadoras de economia circular em busca de processos mais eficientes. A aplicação de novas tecnologias de tratamento de resíduos vem sendo desenvolvida em diversos estudos, e apesar de se exigir grandes investimentos e altos gastos energéticos em alguns casos, o desenvolvimento de estratégias no âmbito de resíduos ainda pode ser vantajoso quando bem avaliadas, de acordo com as características de cada negócio (DADRASNIA *et al.*, 2021).

Contudo, a transição de um modelo econômico linear para o circular visa melhorar a sustentabilidade competitiva na cadeia de suprimentos agroalimentar, uma vez que inclui a integração entre diferentes estágios como: agricultores e produção, processadores de alimentos, distribuidores e varejistas de alimentos. Esse modelo tem como objetivo estratégias para a redução da perda de alimentos que ocorrem principalmente nos estágios mais próximos às fazendas, e ações que visam a conscientização para a redução dos desperdícios que ocorrem nos estágios de venda e consumo dos alimentos (KAYIKCI *et al.*, 2021).

#### 3.1.4 Aplicações da economia circular

A transição do sistema atual para um modelo de zero resíduos e de baixas emissões de carbono exigirá esforços colaborativos entre diversos setores industriais, assim, o aprimoramento de novas tecnologias para a descarbonização é um dos fatores chaves para o desenvolvimento regional e redução dos impactos. No entanto, é imprescindível realizar uma avaliação macroscópica dos fluxos físicos (resíduos, emissões e recursos) na economia para uma seleção mais assertiva de tecnologias sustentáveis para essa transição, viabilizando novas oportunidades para a redução dos impactos e adoção de modelos emergentes (VUNNAVA; SINGH, 2021).

O modelo circular possui algumas práticas para reduzir os impactos, como a emissão de carbonos, através do retorno dos resíduos ao sistema, substituição das fontes fósseis (como o carvão) e utilização de recursos renováveis. Uma dessas práticas na pecuária é a possibilidade de manusear o chorume como fertilizante orgânico em vez do fertilizante tradicional (XUE *et al.*, 2019).

Uma aplicação da economia circular no setor agropecuário e de alimentos é o projeto “Connect the Dots”, cujo objetivo é desenvolver um sistema alimentar no qual trabalha a favor da redução das desigualdades sociais e apoia a agricultura regenerativa. Este projeto está sendo desenvolvido na zona periurbana da capital de São Paulo e região, apoiando os agricultores locais para o fornecimento de alimentos sustentáveis a pessoas mais vulneráveis. Além disso, o projeto conta com uma rede colaborativa de restaurantes e cozinheiras que garantem a distribuição eficaz dos alimentos, diminuindo os resíduos e garantindo o correto descarte descartando em centros de compostagem destinado para este fim (EMF 2016; PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2016).

Dentre as diversas aplicações da economia circular nesse setor há sempre um grande objetivo, transformar os subprodutos dos alimentos em uma grande matéria-prima para a criação de produtos mais valiosos, ou seja, visa a valorização de resíduos visando a extração de nutrientes, produção de energia e reintrodução dos insumos em outros processos. Para isso, a escolha da melhor opção de valorização dos resíduos depende do contexto local, da matéria-prima disponível e das demandas por produtos específicos (EMF, 2019).

O primeiro nível de implementação da economia circular está relacionado com a prevenção do desperdício e resíduos gerados. Por exemplo, o projeto LeanPath e Winnow, tem buscado utilizar-se da tecnologia em cozinhas para rastrear o desperdício de alimentos por meio do uso de inteligência artificial a fim de evitar o refugo e desperdício de alimentos. Apesar de ser um projeto focado apenas no final do ciclo do produto, é possível garantir um melhor aproveitamento dos recursos, visando a redução dos resíduos gerados e rastreabilidade dos desperdícios que podem ser reaproveitados, tornando um sistema mais circular (EMF, 2019).

O segundo nível está relacionado com a redistribuição dos alimentos, como é o caso do *Refettorio* Gastromotiva, uma iniciativa brasileira que tem como objetivo eliminar os desperdícios de alimentos enquanto promovem a inclusão social a partir de alimentos redistribuídos para populações vulneráveis. Esse projeto visa não só a extensão do ciclo de vida do produto, como também a redução dos impactos causados pelos resíduos que poderiam ser gerados, além de contribuir socialmente na entrega alimentos que impactam na melhoria da qualidade de vida da população local (EMF, 2019).

Em seguida é possível descrever quatro novos ramos para o uso da economia circular para o setor agroalimentar, sendo eles: (1) Desenvolvimento de novos produtos alimentares, por exemplo o *Planetarians* que desenvolve subprodutos de sementes para produção de óleo de cozinha; (2) Novas entradas para agricultura, como o caso do *Recyfish* que transforma subprodutos de peixes em fertilizantes e o Sistema Agri Gaia que fabrica rações saudáveis e seguras para suinocultura a partir de alimentos descartados; (3) Criação de novos materiais, como por exemplo o *Ricehouse* que utiliza casca de arroz em materiais de construção de alto desempenho e o Pigmento que cria pigmentos têxteis a partir de café, açafraão e repolho; e (4) Bioenergia, como é o caso do *Suez and Total* onde transforma óleo de cozinha usado em biocombustíveis e a usina de biogás de *Leeming* que gera 6 milhões de m<sup>3</sup> por ano de biometano usado na rede de gás por famílias da área e fertilizantes vendidos às fazendas locais (EMF, 2019).

O setor econômico alimentício mundial ocupa cerca de um terço do planeta e está associado a diversos desafios globais urgentes de serem tratados, tais como: as mudanças climáticas, a perda da biodiversidade e os riscos à saúde e segurança alimentar humana. A forma em que esses processos são desenvolvidos muitas vezes estão preocupados apenas com os fatores econômicos e de produtividade, deixando de lado as questões ambientais e sociais que afetam toda a cadeia produtiva da agricultura e pecuária, os recursos naturais, a vida das pessoas e os meios atmosféricos (ROBERTSON-FALL, 2021).

Para que esse cenário se inverta, é preciso redesenhar todo o sistema agroalimentar, Robertson-Fall (2021) cita cinco benefícios de uma economia circular para alimentos, sendo essenciais para a população e o meio ambiente.

- a. Regenera sistemas naturais: com a finalidade de melhorar a saúde geral do ecossistema local, a economia circular protege os habitats naturais e melhora a saúde humana.
- b. Combate à mudança climática: ao adotar sistemas regenerativos de cultivo que permite que a fotossíntese ocorra o ano todo, retira-se o CO<sub>2</sub> da atmosfera para as plantas e os microrganismos no solo do local cultivado, minimizando os impactos do aquecimento global.
- c. Melhora o acesso a alimentos nutritivos: com o intuito de aumentar a segurança alimentar e trazer dietas mais nutritivas à população, a

economia circular interliga as cidades com as regiões ao seu redor, garantindo maior resiliência e produção local.

- d. Apoia as comunidades locais: na tentativa de minimizar a agricultura industrializada e aumentar a utilização da agricultura local, a economia circular apoia os meios de subsistência de pequenos agricultores regionais.
- e. Economiza dinheiro e cria valor: quando se obtém alimentos provenientes de forma regenerativa, da minimização do desperdício e o uso de resíduos de forma correta, as cidades passam a ganhar diversos benefícios advindos das alternativas dos novos fluxos e ganhos com produtos de alta qualidade e valor agregado.

### **3.2 Suinocultura**

A suinocultura é considerada uma importante atividade econômica para a produção e disponibilidade de alimentos no âmbito mundial, essa prática está relacionada com a criação de suínos / porcos especialmente para a produção de carne para a alimentação humana, sendo uma das carnes mais consumidas no mundo. A indústria de suínos produziu aproximadamente 114 milhões de MT (CWE) em carne de porco mundialmente no ano de 2022, sendo equivalente a uma produção de cerca de 1,3bi de cabeças de suínos neste ano (USDA, 2023).

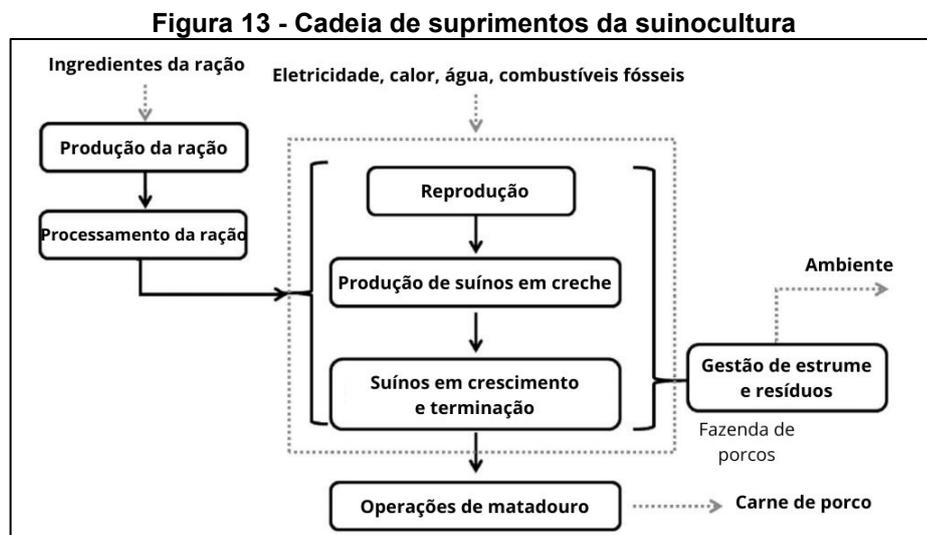
A carne suína pode ser consumida de forma fresca ou através de produtos industriais. De acordo com a Associação Brasileira dos Criadores de Suínos os modelos de negócios adotados diferem de acordo com as particularidades do mercado e são considerados três categorias: abatedouro, indústria com foco em produto in natura e indústria com foco em produto processado, no qual são caracterizados a seguir (ABCS, 2016).

- a) Abatedouro: Envolve o processo de abate do suíno, é responsável por abater o animal e limpar a carcaça. A carcaça inteira é o produto dessas empresas e pode ser destinada para o consumo ou processamento para outra organização.
- b) Indústria com produção in natura: Realiza-se também o abate do suíno, porém inclui uma segunda etapa, que é responsável pelo processo de separação da carcaça em cortes específicos, sendo assim, os produtos podem ser as carcaças ou cortes.

- c) Indústria com foco em produto processado: Esse modelo é responsável pelos abates, pelos cortes específicos, e, também, se realiza produtos processados, como linguiças, defumados, calabresa, presuntos e frescais.

Uma fazenda de produção de suínos pode ser classificada de acordo com a categoria de produção e a fase de criação de animais abrangida, sendo elas: sistemas de reprodução de suínos, criação e crescimento de leitões, engorda de suínos (leitões desmamados), e empreendimentos de acabamento de suínos (produtores de acabamento). Uma produção de suínos pode ser composta por uma ou mais fases de criação a depender do modelo de negócios adotado pela propriedade, podendo ser uma produção de ciclo completo, ou seja, todas as fases de criação; produção apenas de leitões, ou seja, reprodução e criação de leitões até o desmame; ou produção de terminados, ou seja, apenas a fase de terminação para o abate (PFEIFER *et al.*, 2022).

Por outro lado, a cadeia de suprimentos da produção de suínos pode ser interpretada de forma mais abrangente além dos limites da fazenda, uma vez que é dependente de outros processos de fabricação de insumos, produção de carne e tratamento de resíduos. A produção moderna de suínos é caracterizada pelas atividades de cultura de alimentos para os animais, produção de ração, processamento de ração, produção de porcas para reprodução, produção de leitões, criação engorda de suínos, terminação de suínos para abate, processamento de carne, comercialização de alimentos de carne e exportações, manejo de estrume e tratamento de resíduos, conforme apresentado na Figura 13 (ZHANG *et al.*, 2021).



Fonte: Zhang *et al.*, (2021).

Atualmente, o crescimento do consumo de carne tem sido recorrente em várias regiões do mundo, com um aumento de aproximadamente 63% nos últimos 40 anos, a demanda por proteínas e micronutrientes é um dos principais fatores para o crescimento da produção intensiva de carnes para o consumo humano. Desse modo, a carne suína também segue essa tendência, onde espera-se um aumento de cerca de 40% em sua produção até 2050 (NOYA *et al.*, 2017).

Além disso, a suinocultura é considerada um sistema global altamente complexo uma vez que envolve outros processos, como: o consumo de fertilizantes e pesticidas para a adequação da terra e agricultura para produção de ração; transporte de leitões e suínos entre diferentes fazendas de acordo com as fases de produção; utilização de energia e água nos processos, além do manejo e tratamento dos resíduos que podem ser coletados e valorizados para recuperação de recursos (MCAULIFFE; CHAPMAN; SAGE, 2016).

Os processos de suinocultura são comumente caracterizados por unidades de produção intensiva em sistemas de confinamento, onde buscam a máxima eficiência e produtividade da carne de porco. Entretanto, este processo consome elevados recursos naturais, além de produzir grandes quantidades de resíduos que necessitam de tratamentos corretos antes do descarte. A suinocultura acaba por ser uma atividade com altos impactos em solos da agricultura, recursos hídricos e proliferação de odores, além da necessidade de armazenamento e transporte adequados de grandes volumes de dejetos (GOMES *et al.*, 2014).

Os processos da suinocultura também dependem de insumos externos que são introduzidos na produção de ração e alimentos dos animais, tais como: fertilizantes sintéticos, irrigação, ração importada, agroquímicos e infraestrutura. Tais insumos podem garantir ganhos de produtividade e uma melhor gestão dos processos, em contrapartida também podem contribuir para o aumento dos desperdícios e à degradação ambiental quando mal geridos (BURGGRAAF *et al.*, 2020).

### 3.2.1 Processos da suinocultura

Os sistemas de suinocultura podem ser divididos de diversas formas, conforme os limites estabelecidos no início e fim dos processos das fazendas de produção (reprodução ou criação) e as indústrias de carne (abate ou comercialização). É possível classificar a suinocultura em 4 subsistemas, sendo o primeiro deles

vinculado aos processos que antecedem a criação como: a produção de forragens e rações, o segundo subsistema passa pelos processos de criação e engorda nas fazendas, posteriormente, o terceiro é composto pelo abate e industrialização dos suínos, e por fim, os processos de corte e comercialização da carne até a mesa para o consumo (NOYA *et al.*, 2017).

Acontecendo os processos da suinocultura, são necessários a produção e aquisição de insumos por parte das fazendas para que posteriormente possam ser utilizados como matéria prima para a produção e engorda dos suínos nos diferentes processos. Entre as entradas desse sistema destaca-se as matérias primas de alimentação e forragem (trigo, milho, cevada, soja, palha e outros), eletricidade, água, combustíveis fósseis, produtos químicos, agentes de limpeza, vacinas e atividades de transportes (NOYA *et al.*, 2017; BANDEKAR *et al.*, 2019).

Os processos da suinocultura dentro da fazenda podem ser divididos em 4 fases, sendo elas: área de reprodução (inseminação e gestação), área de lactação (desenvolvimento e crescimento dos leitões), área de criação (desmame e crescimento inicial) e área de engorda (crescimento, desenvolvimento e acabamento) (GUTIERREZ *et al.*, 2018).

Os processos da suinocultura dentro da fazenda podem ser divididos em 4 fases, sendo elas: área de reprodução (inseminação e gestação), área de lactação (desenvolvimento e crescimento dos leitões), área de criação (desmame e crescimento inicial) e área de engorda (crescimento, desenvolvimento e acabamento) (GUTIERREZ *et al.*, 2018).

A etapa de reprodução de suínos é considerada a primeira fase dos processos de criação dos animais, onde é dividida entre inseminação, gestação, parto. A reprodução das porcas na produção de suínos geralmente é feita através de inseminação artificial, com uma proporção de 1 macho para cada 100 fêmeas. O período de gestação de um suíno dura cerca de 115 dias, aproximadamente 3 meses e meio a 4 meses para o parto, além disso, a produção das porcas é medida pelo número de ninhadas anuais, que é de cerca de 2,2 (HUI *et al.*, 2016).

Já a segunda área é composta pelo processo de lactação e crescimento dos leitões, o tempo de aleitamento é de cerca de 21 dias, e é medido pelo peso dos leitões desmamados, onde terminam essa etapa com aproximadamente 6,6 kg. O desempenho reprodutivo das porcas é afetado ao longo da sua vida e acaba quando

elas são descartadas, geralmente após 8 a 9 ninhadas ou 3 a 4 anos de uso para esse processo (HUI *et al.*, 2016).

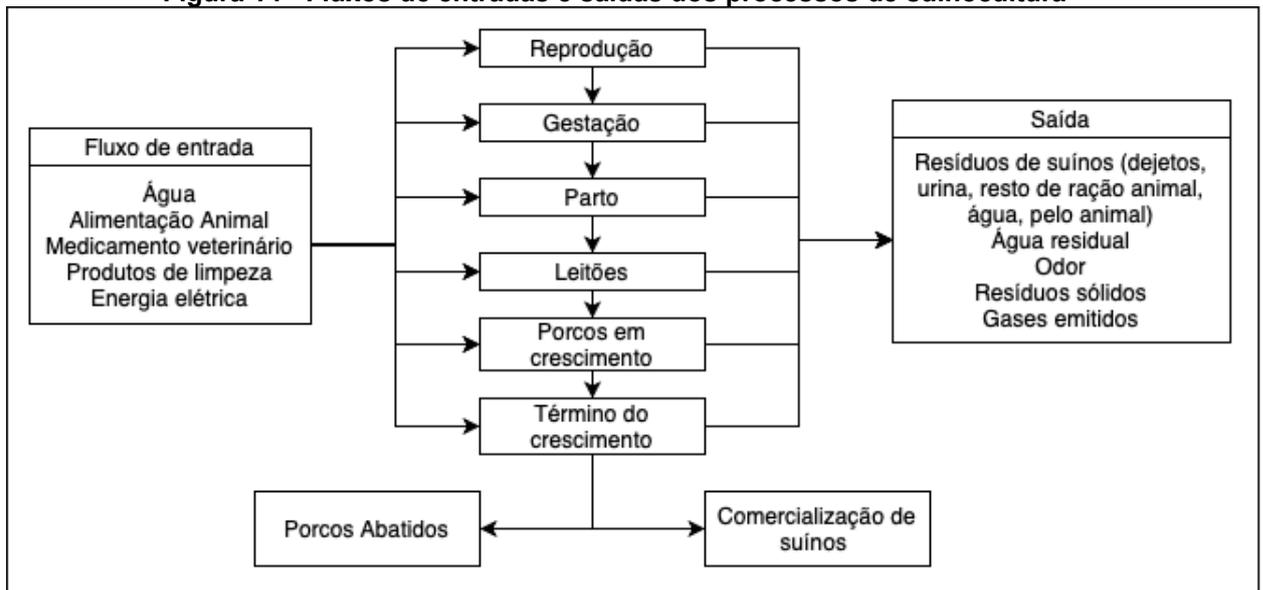
Após os leitões serem desmamados aos 21 dias de vida, eles são separados das porcas para o seu desenvolvimento, este novo ambiente deve ser aquecido em cerca de 35°C para um melhor conforto dos animais (OLIVEIRA *et al.*, 2011; DIEEL *et al.*, 2020). Nesse processo, os leitões começam a ingerir outros tipos de alimentos além do leite materno e iniciam a fase de crescimento até que seja atingido 16kg de peso corporal. Os leitões nesta fase podem ser separados em dois grupos: os vendidos diretamente para outras fazendas para o processo de terminação e os suínos cultivados por mais quarenta dias na própria fazenda (OUNSANEHA *et al.*, 2018).

A fase de terminação dos suínos é a fase final de crescimento antes do abate. Neste período, os suínos são alimentados com uma dieta rica em proteínas e gorduras para aumentar significativamente o seu peso corporal e melhorar a qualidade da carne. A fase de engorda normalmente dura de 90 a 120 dias, dependendo do objetivo e peso final desejado, ao qual podem variar entre os machos que possuem cerca de 110 a 120kg e as fêmeas com 100 a 110kg (HUI *et al.*, 2016).

No final desta etapa, os porcos estão prontos para os processos de abate e comercialização da carne e outros produtos, assim, são encaminhados para as indústrias de processamento fora da fazenda. Além disso, há outras saídas nos processos de suinocultura, classificados como produtos indesejáveis (REBOLLEDO-LEIVA *et al.*, 2022), entre eles é possível destacar os resíduos sólidos, águas residuais, emissões (ar, água e solo), estrume/chorume de suínos, animais mortos, compostos químicos, entre outros (NOYA *et al.*, 2017).

As etapas da suinocultura podem ser identificadas através de um mapeamento dos fluxos de entradas, processamento e saídas, conforme apresentado na Figura 14.

**Figura 14 - Fluxos de entradas e saídas dos processos de suinocultura**



Fonte: Adaptado de Leite *et al.*, (2014); Ounsaneha *et al.*, (2018).

Além disso, o Quadro 2 apresenta o balanço dos fluxos de material envolvidos nos processos de suinocultura, incluindo as entradas e saídas de cada um dos processos. Este quadro permite uma melhor visualização entre a relação das entradas e saídas de material em cada etapa da produção, fornecendo uma visão geral dos fluxos de materiais ao longo da cadeia de suprimentos.

**Quadro 2 - Balanço de fluxo de material dos processos de suinocultura**

Centro de produção	Entrada	Saída
Produção de leitões	Porcas, ração, remédios e vacinas veterinárias, água e eletricidade.	Leitões, estrume de fazenda de porcos, porcos doentes e mortos
Engorda de porco	Leitões, ração, remédios e vacinas veterinárias, água e eletricidade.	Porcos, estrume de fazenda de porcos, porcos doentes e mortos
Engenharia de biogás	Estrume de fazenda de suínos, águas residuais e transportes.	Biogás, biofertilizantes, resíduos de gases
Pastagens e agricultura	Mudas, fertilizantes, pesticidas, produtos químicos e irrigação.	Frutas orgânicas, cereais e leguminosas.

Fonte: Adaptado de Muhl e Oliveira, (2022).

### 3.2.1.1 Insumos

A produção de suínos em escala intensiva requer uma grande quantidade de insumos, entre as principais matérias-primas destaca-se o uso de rações ricas em proteínas, medicamentos para saúde animal, além de uma quantidade significativa de água, energia, fertilizantes e pesticidas. Desse modo, a proteção dos recursos naturais e o equilíbrio sustentável do meio ambiente são fatores-chaves essenciais para a estabilidade do desenvolvimento econômico deste setor, possibilitando a minimização dos impactos causados (SANTOS *et al.*, 2023).

A energia elétrica é usada para várias necessidades, incluindo cercas elétricas, motores, sistemas de ventilação, bombas centrífugas, lavadoras de pressão, iluminação, alarmes e outras tarefas (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021). Atualmente, existem diversas tecnologias disponíveis para a produção de energia a partir de fontes renováveis, as quais possuem uma pegada ambiental menor e devem ser priorizadas do ponto de vista ecológico (RUKUNDO *et al.*, 2021).

No caso de fazendas de suinocultura, é crucial considerar a utilização de meios alternativos de energia renovável para minimizar os impactos ambientais, devendo ser considerada o uso das seguintes energias como fontes preferencial: energia eólica, hidroelétrica, solar, geotérmica, biogás e biomassa, respectivamente. Devendo assim, ser evitadas as energias provenientes de gás natural, propano e carvão, com o objetivo de minimizar a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa (RUKUNDO *et al.*, 2021).

O aquecimento é feito com gás natural ou equivalente, no qual aquece o ambiente por meio de tubos para as pocilgas, mantendo o conforto térmico dos animais. O aquecimento com gás natural ou biogás é uma das alternativas mais comuns, pois é mais eficiente e economicamente viável. No entanto, é importante lembrar que o uso excessivo de energia e recursos naturais pode afetar negativamente o meio ambiente, e é necessário encontrar soluções mais sustentáveis a longo prazo (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021).

O consumo de água na produção de suínos inclui vários usos, como: água potável para os porcos, que é essencial para sua saúde e bem-estar; água para fins de descarga e resfriamento, no qual ajuda a manter a temperatura dos animais em níveis confortáveis; e a água utilizada para desinfecção dos galpões, onde é crucial

para manter o ambiente limpo e livre de doenças, garantindo assim a saúde dos animais e a qualidade da produção (HUI *et al.*, 2016).

Para a entrada de água nos processos da suinocultura é importante avaliar o seu desempenho e eficiência por meio de indicadores, ou seja, realizar a mensuração da quantidade de água extraída da natureza e a quantidade recuperada dos demais processos, com o objetivo de manter o máximo dos fluxos fechados e minimizar cada vez mais o consumo externo. É importante destacar que o uso excessivo de água pode ter impacto direto em reservas subterrâneas, lagos e rios, resultando em fatores negativos ao meio ambiente. Dessa forma, é essencial encontrar soluções sustentáveis para garantir a eficiência no uso desse recurso precioso (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017; GIANG *et al.*, 2021).

A quantidade e tipo de ração fornecida são ajustados de acordo com a idade dos suínos, levando em consideração suas necessidades nutricionais e de crescimento. A ração é formulada com uma combinação de ingredientes, como grãos, proteínas animais, minerais e vitaminas, para fornecer aos suínos todos os nutrientes necessários para seu desenvolvimento saudável. Além disso, é importante monitorar o consumo de ração e a qualidade dos ingredientes usados, para garantir a eficiência econômica da produção e evitar problemas de saúde animal (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021).

A produção de ração animal é uma das principais atividades com altos níveis de impactos ambientais no sistema de produção de carne suína, principalmente devido às emissões de gases de efeito estufa e ao uso excessivo de energia e recursos não renováveis. É possível trabalhar a integração entre os sistemas de produção de carne e a agricultura (especialmente para produção de ração), trazendo uma abordagem mais eficaz para a reutilização de resíduos e fertilizantes no campo de cultivo, ajudando assim a reduzir as emissões e a pressão sobre os impactos causados na produção de carne suína (ZHANG *et al.*, 2021). Estima-se que a produção de ração representa 75% das emissões de CO<sub>2eq</sub> do sistema de produção, considerando todas as fases de crescimento do produto, ou seja, o sistema de alimentação representa 75% dos impactos ambientais do produto. (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021)

A produção intensiva também utiliza diversos medicamentos, vacinas e antibióticos para garantir a saúde no crescimento do suíno e qualidade na carne. O uso abusivo de antibióticos durante a produção dos animais, pode gerar grandes

quantidades de resíduos com alta carga de antibióticos o que dificulta a sua reutilização e valorização. Além disso, pode causar problemas relacionados com a saúde humana ao longo da cadeia alimentar, resultando em riscos de resistência a antibióticos (ZHANG *et al.*, 2021).

Contudo, salienta-se que para alcançar as metas do Acordo de Paris, seria necessário a implementação de mudanças significativas em toda a cadeia de produção de suínos, partindo pelo sistema de alimentação e agricultura até os sistemas de abate e consumo de carne de porco (RUCKLI *et al.*, 2022).

### 3.2.1.2 Estrume

O estrume é um dos principais resíduos gerados durante o processo de produção de suínos, e acaba se tornando um desafio crítico para o manejo de efluentes nas fazendas, devido às grandes quantidades. Quando este resíduo não é manuseado corretamente pode causar poluição do solo, água e ar, além de emitir gases de efeito estufa e representar risco para o ser humano e vida selvagem local, ampliando os impactos negativos da suinocultura (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017).

A composição do estrume animal é afetada por uma série de fatores, como a dieta dos animais, composição da ração, a fase de produção, a idade e sexo, o consumo de água e o método de gestão, que têm um impacto direto nas propriedades do resíduo final, entre outros fatores. Entretanto, os grandes volumes de estrume têm sido uma preocupação persistente, devido à contaminação do solo, água e ar, exigindo soluções mais sustentáveis e melhores estratégias de gerenciamento e tecnologia para esses resíduos (HOLLAS *et al.*, 2021; HOLLAS *et al.*, 2022).

Além disso, o gerenciamento do estrume animal é impactado por diferentes condições, incluindo padrões de alimentação, tempo de armazenamento e uso de água. O estrume é uma fonte valiosa de matéria orgânica e nutrientes, incluindo nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio e enxofre. A composição desses nutrientes depende das técnicas e fases de criação e insumos utilizados na fazenda (DADRASNIA *et al.*, 2021).

A quantidade de resíduos gerado pelos animais se torna relevante para o tratamento e correto manuseio, sendo proporcional ao número de animais, suas idades e práticas de manejo (SECCO *et al.*, 2020). De acordo com dados apresentados pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e outros artigos do portfólio, foi possível classificar um valor médio da quantidade de esterco gerado

diariamente pelos animais em diferentes fases de produção, sendo apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Produção média diária de resíduos**

<b>Categoria</b>	<b>Esterco (kg/dia)</b>	<b>Esterco + Urina (kg/dia)</b>	<b>Dejetos Líquidos (L/dia)</b>
25 a 100 kg	2,3	4,9	7,0
Porcas em gestação	3,6	11,0	16,0
Porcas em lactação	6,4	18,0	27,0
Machos	3,0	6,0	9,0
Leitão desmamado	0,35	0,95	1,4

**Fonte: MAPA (2016); Silva et al. (2020); Oliveira et al. (2022).**

O estrume da criação de suínos, quando não são manuseados corretamente, podem causar odores desagradáveis na fazenda, proliferação de insetos, transmissão de doenças e problemas sanitários devido a contaminação da água e solo, além de outros impactos ambientais em outras áreas (SECCO *et al.*, 2020).

Além disso, o estrume de suínos é constituído por quantidades desequilibradas de nutrientes em relação às quantidades absorvidas pelas plantas, quando usados como biofertilizantes. Por esse motivo, é fundamental realizar um tratamento adequado antes de reaproveitá-lo na agricultura ou apenas descartá-lo no meio ambiente (OLIVEIRA *et al.*, 2022). Embora essa quantidade de nutrientes presente no estrume animal possa variar dependendo da tecnologia utilizada para o seu tratamento, é inegável que esse recurso é sempre uma fonte valiosa de nutrientes a ser reaproveitada pelas fazendas (PAN *et al.*, 2021).

Antes da década de 1970, os dejetos suínos não eram considerados um problema devido à pequena concentração de animais e à capacidade dos solos em absorver as cargas orgânicas dos efluentes. No entanto, com a intensificação da produção e a implementação do confinamento, houve um aumento no volume de dejetos produzidos, chegando em média a cerca de 5,4Kg por dia por suíno em uma fazenda (GOMES *et al.*, 2014).

Outros fatores também estão associados aos impactos ambientais causados pelo estrume de suínos, sendo este uma fonte potencial de poluição. Quando tratado fora da fazenda, a distância de transporte entre a fazenda e a usina de bioenergia pode chegar a 30 km, gerando o consumo de combustíveis fósseis e emissão de gases de efeito estufa (YAZAN *et al.*, 2018).

Adicionalmente, o teor de umidade no estrume tem uma correlação direta com a eficiência das tecnologias de valorização ambiental e tratamento dos resíduos. No caso do estrume de suínos, o teor de material seco é de apenas 8% a 12%, enquanto a porcentagem de matéria orgânica varia entre 80% a 85% (YAZAN *et al.*, 2018). Assim, quanto mais líquido o substrato, menor é a produção de biogás, ou seja, para produzir a mesma quantidade de biogás, é necessário ter uma quantidade maior de chorume neste caso (MURADIN; JOACHIMIAK-LECHMAN; FOLTYNOWICZ, 2018).

### 3.2.1.3 Águas residuais

As águas residuais de suínos são compostas por urina, fezes e água de limpeza, e apresentam uma variedade de substâncias perigosas para a saúde humana. Essas concentrações de poluentes nas águas residuais podem variar de acordo com diversos fatores, como a idade dos suínos, a dieta, o número de animais na fazenda, as condições de criação dos suínos e as condições climáticas, como umidade e temperatura (SANTOS *et al.*, 2023).

A mistura de água limpa, extraída da natureza por meio de poços e nascentes, com fezes e urina dos suínos formam as águas residuais. Essas águas podem conter matéria orgânica solúvel e flutuante prejudicial às águas subterrâneas além de rios e lagos quando descartadas incorretamente. Contudo, as águas residuais também possuem sólidos totais suspensos e solúveis prejudiciais ao solo, altas quantidades de fósforo, potássio e outros elementos prejudiciais, hormônios e antibióticos nocivos à saúde humana e à vida selvagem e outros pequenos poluentes (BAUTISTA; AGUILAR; GIJÓN-YESCAS, 2022).

As águas residuais provenientes da produção suína são altamente poluentes, contendo uma elevada quantidade de materiais sólidos orgânicos em suspensão, nutrientes (principalmente nitrogênio) e compostos tóxicos perigosos, como metais pesados, antibióticos e hormônios, que podem causar graves problemas ambientais e impactar negativamente a saúde humana. Essas águas também apresentam elevados níveis de sódio, cálcio, potássio, cloro, enxofre, fosfato, bicarbonato, amônio, metais pesados e carbonos, o que pode afetar diferentes ambientes e impactar o crescimento e desempenho microbiano (CHENG *et al.*, 2020).

Analisando por outra ótica, as águas residuais podem ser consideradas como um recurso valioso e alternativo para as propriedades suinícolas, pois contém água e outros nutrientes como: nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. Assim, sua

recuperação e reaproveitamento pode estar vinculado a um uso estratégico em busca de benefícios econômicos e ambientais (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017), sendo amplamente recomendada por alguns cientistas e organizações internacionais, visando a sustentabilidade deste recurso e o reaproveitamento dos nutrientes de forma segura para a saúde humana e meio ambiente (GIANG *et al.*, 2021).

#### 3.2.1.4 Emissões atmosféricas e odor

A produção de suínos de forma intensiva tem gerado diversos impactos ambientais negativos que são amplamente criticados. Estima-se que a suinocultura seja responsável pela emissão de 668 megatoneladas de CO<sub>2eq</sub> anualmente, representando 9% das emissões totais da pecuária. As principais dificuldades do setor estão diretamente relacionadas com o manejo inadequado do armazenamento e distribuição da alimentação e estrume, além da mudança no uso da terra para produção (RUCKLI *et al.*, 2022).

Embora a emissão de gases seja um aspecto presente em todas as etapas da produção suína, a fase de armazenamento é considerada particularmente crítica, uma vez que pode resultar em mudanças na composição dos resíduos e aumentar as emissões de gases devido à degradação. Adicionalmente, o processo de armazenamento pode ser ainda mais agravado por práticas inadequadas, como a falta de manutenção de equipamentos de armazenamento, a falta de ventilação e a gestão inadequada da umidade, todas as quais podem aumentar a emissão de gases (HOLLAS *et al.*, 2021).

Os resíduos suínos também possuem alguns riscos sanitários para além das emissões de gases poluentes, causando impacto na vida humana e dos próprios animais devido à emissão de toxicidades, odores e a presença de patógenos que podem contaminar o solo, a água e o ar. O acúmulo de resíduos suínos em fazendas pode ser fonte de mau cheiro e atrair insetos, sendo importante implementar medidas eficazes para controlar a geração e disposição adequada dos resíduos (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017).

O setor de suinocultura é uma grande fonte de emissões de amônia (NH<sub>3</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>), contribuindo significativamente para a poluição do ar a partir de partículas finas e mudanças climáticas. Destas emissões, 15% são atribuíveis ao gerenciamento de esterco, sendo responsável por 80% das emissões de NH<sub>3</sub> na suinocultura. Além disso, a perda de nitrogênio reativo (N) durante o manuseio de

esterco leva a uma reciclagem ineficiente de nutrientes e questões ambientais tanto em escala local quanto global (BEYERS *et al.*, 2022).

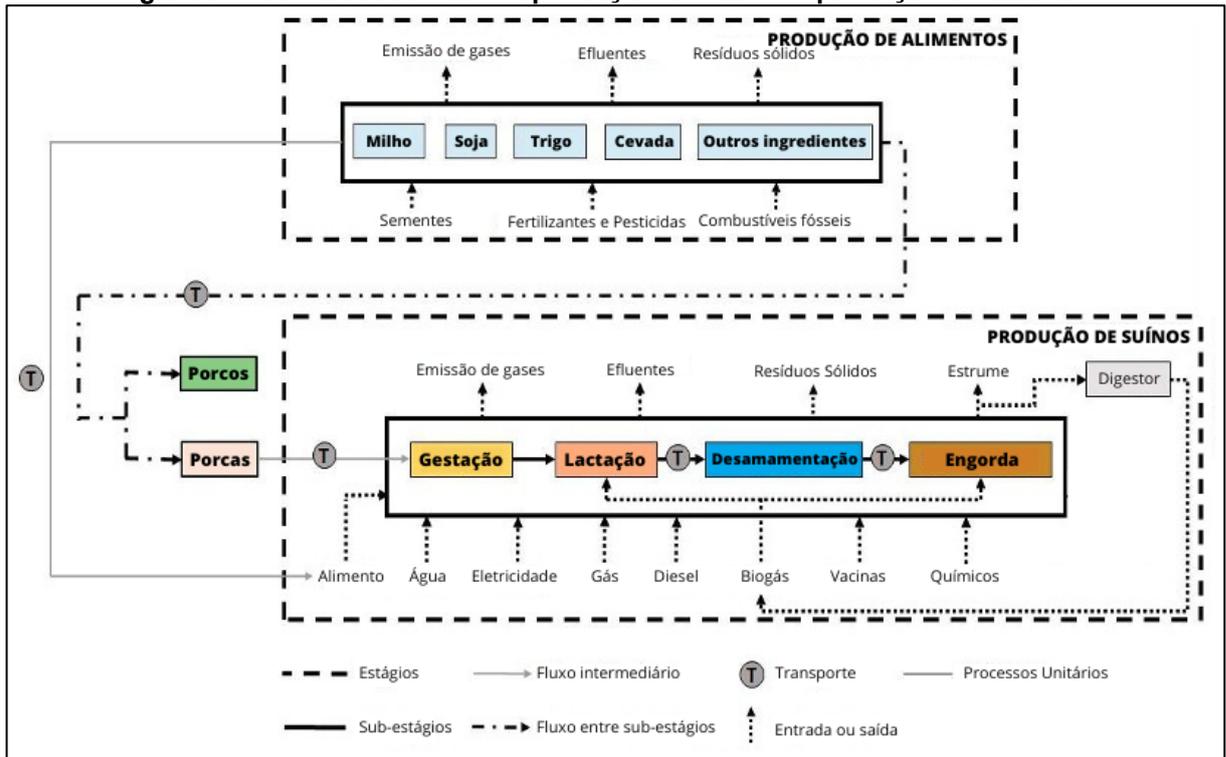
### 3.3 Economia circular na suinocultura

A suinocultura é uma das principais pecuárias em termos de produção, entretanto ainda há um grande gargalo entre os benefícios econômicos gerados e a poluição causada ao meio ambiente. Dessa forma, a economia circular é cada vez mais vista como uma forma alternativa para o desenvolvimento de novas tecnologias e processos para a minimização dos resíduos e impactos, aliviando a poluição do estrume e águas residuais em prol de outros benefícios econômicos (XUE; WANG; MA, 2018).

Para se alcançar a sustentabilidade dentro do setor da suinocultura é necessário considerar o desenvolvimento de algumas dimensões essenciais para o fechamento do ciclo de produção e minimização de impactos ambientais, sociais e econômicos. Entre as dimensões com maior atenção são: bem-estar animal (conforto, liberdade de alimentação e comportamentos naturais), saúde animal (minimização da dor e gestão preventiva de doenças), programas de reprodução (gestão e organização da criação e variação genética), ambiente (mudanças climáticas, demanda de energia, água e solo, acidificação e eutrofização), segurança da carne (higiene, limpeza e desinfecção e vacinação), economia (autonomia financeira, viabilidade econômica, investimentos e subsídios) e condições de trabalho (carga de trabalho, instalações e ambiente, recursos necessários e satisfação dos colaboradores) (BONNEAU (1) *et al.*, 2014; BONNEAU (2) *et al.*, 2014).

Os processos da suinocultura e as atividades agrícolas relacionadas podem ser vistas como um ciclo de produção colaborativo entre sistemas, no qual pode transformar a suinocultura em um modelo de negócio mais sustentável. De acordo com Giral-di-Diaz *et al.* (2021), os estágios de produção de alimentos e produção de suínos possuem insumos e resíduos que podem ser compartilhados em busca de um fluxo mais circular, conforme apresentado no fluxograma da Figura 15.

Figura 15 - Circularidade entre a produção de suínos e produção de alimentos



Fonte: Giral-di-Diaz *et al.* (2021).

Neste contexto, dentro dos sistemas agroalimentares, em especial de suinocultura, a economia circular tem como principal objetivo a recuperação e valorização de resíduos, sendo fundamental para a preservação ambiental e aumento da eficiência produtiva. O desenvolvimento deste modelo permite melhorar a utilização da terra e reduzir as emissões de gases poluentes, além de aprimorar o tratamento e utilização de resíduos na forma de biofertilizantes, combustíveis e energia (SECCO *et al.*, 2020).

Por este ponto de vista, o modelo de economia circular difere-se do modelo econômico linear geral pela ampliação da reutilização de resíduos para outros fins. Um exemplo é o uso do dejetos provenientes dos suínos para produção de biogás, este pode ser devolvido ao processo produtivo para aquecimento e geração de eletricidade, diminuindo o consumo energético de terceiros, além do possível aproveitamento do resíduo da produção do biogás como fertilizante. Dessa forma, a economia circular altera o fluxo de valor desta cadeia, considerando que a mudança dos materiais propicia o aumento da utilização dos recursos e a redução da poluição (FU; LIU, 2019).

Por muito tempo, a evolução tecnológica nas fazendas esteve atrelada ao aumento de produtividade e redução de custos, todavia este avanço vem

demonstrando lacunas quando confrontado com as novas abordagens existentes, que buscam mudanças radicais nas formas de produção, devido às pressões ambientais atuais, esgotamento de recursos e mudanças climáticas (SALVIA; ANDREOPOULOU; QUARANTA, 2018).

Neste momento, a produção de alimentos ainda envolve alta produção de resíduos, apesar desta modernização dos últimos anos (BORGES *et al.*, 2017). Diante disso, destaca-se a importância da conscientização dos agricultores sobre as práticas que podem ser tomadas com o intuito de reduzir o desperdício em seus processos produtivos. Além de reforçar que tais ações trazem tanto benefícios ambientais, mas também vantagens no sentido econômico (RUCKLI *et al.*, 2021).

Já existem vários exemplos de práticas que são tomadas por agricultores com o objetivo de tornar o sistema mais cíclico, como a diversificação das atividades agrícolas que facilita a visão circular do processo e a gestão dos rejeitos (BORGES *et al.*, 2017). Por outro lado, ações com demanda de grandes investimentos (construção de um biodigestor) podem necessitar de subsídios do governo para sua concretização (RUCKLI *et al.*, 2021).

Outro desafio da aplicação da economia circular em diferentes processos, inclusive na suinocultura, está na avaliação desta aplicação e dos seus resultados. Para superar esses desafios, torna-se necessário a implementação de indicadores para mensurar sua eficiência e mostrar quantitativamente os resultados sociais, econômicos e ambientais gerados, permitindo avaliar os resultados e ajustar as estratégias implementadas (SECCO *et al.*, 2020).

Os objetivos de circularidade na suinocultura podem ser classificados em 4 categorias principais para o desenvolvimento sustentável do negócio, sendo elas: eficiência de uso de recursos (1), centrado em minimizar o uso de materiais, energia e água, a partir de processos com maior produtividade; redução na fonte geradora de resíduos e atividades circulares (2), visa evitar a produção de resíduos e minimizar os desperdícios, além de desenvolver a maximização das taxas de reutilização, reciclagem, recuperação e descarte correto dos materiais; emissões de energia e gases de efeito estufa (3), objetiva-se maximizar o uso de energia renovável e reduzir as emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes na atmosfera; e indicadores complementares de aspectos sociais e biodiversidade (4), visa garantir um ambiente de trabalho saudável, apoio a economia local, bem-estar animal e boas condições na produção (RUKUNDO *et al.*, 2021).

Já em relação a estratégias que podem ser adotadas para o desenvolvimento de modelos de negócios circulares em fazendas de suinocultura, Kowalski e Makara (2021) identificaram seis principais técnicas, incluindo: plantas de biogás, empreendimentos de *upcycling* de resíduos, biorrefinarias ambientais, cooperativas e associações agrícolas, agroparques e estruturas de apoio. Dessa forma, cada gestor e proprietário das fazendas devem se posicionar de acordo com as características do seu negócio e níveis de investimento para o desenvolvimento de estratégias circulares, possibilitando a valorização dos resíduos gerados nos processos, a otimização dos ciclos de produção e a aquisição de ganhos financeiros. Ainda vale ressaltar a necessidade de uma certa atenção para a localização das unidades de produção, de forma a reduzir os transportes entre os stakeholders e a otimizar as rotas para minimização dos impactos ambientais fora dos limites da fazenda (KOWALSKI; MAKARA, 2021).

Neste aspecto, o grau de formação e conhecimento dos proprietários das fazendas contribuem favoravelmente para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias, em busca de benefícios da sustentabilidade para os sistemas de suinocultura. Entre as habilidades adquiridas na gestão da cadeia de produção de suínos está a utilização de um sistema de leite profundo, o gerenciamento alimentar e sanitário, a reprodução e inseminação artificial e a produção de forragens verdes hidropônicas para alimentação animal, todas essas estratégias visam melhorias nos processos e trazem como vantagens a minimização dos impactos e melhorias na circularidade da fazenda como um todo (GABRIELA *et al.*, 2018).

Outra alternativa para o desenvolvimento da economia circular na suinocultura está na possibilidade de reaproveitamento de subprodutos locais para alimentação dos suínos, assim, pode-se reduzir o impacto ambiental das rações e contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor. Estudos de Ferrer *et al.* (2021), apontam que a introdução da polpa de laranja na alimentação pode ser vista como uma fonte de energia relevante para substituição de cereais na ração, além de ser capaz de reduzir o chorume e as emissões de gases como  $\text{NH}_3$  e  $\text{CH}_4$ . Por outro lado, este processo requer a secagem da polpa antes do uso, no qual é um processo caro e com perdas de nutrientes, podendo influenciar na sustentabilidade do processo até que haja alternativas mais viáveis (FERRER *et al.*, 2021).

Há uma tendência crescente em relação à necessidade de avaliação da sustentabilidade na cadeia da produção de suínos com base em uma análise global

do sistema. A produtividade, a geração de estrume e o consumo de ração são algumas das importantes práticas de gestão que precisam ser monitoradas (BANDEKAR *et al.*, 2019).

Para exemplificar, um bom indicador da circularidade de uma fazenda é o nível de autossuficiência desta em termos de produção de ração, pois o ciclo do nitrogênio pode ser fechado, sendo que uma ação que pode ser implementada é a colaboração dos agricultores locais com a troca de ração e dejetos (PFEIFER *et al.*, 2022).

Além disso, é importante monitorar a qualidade e quantidade dos dejetos para facilitar sua gestão e regulação. Estes dados são fundamentais para direcionar seus usos de maneira mais eficiente e que sejam ambientalmente sólidos e garantam a reciclagem dos nutrientes de maneira adequada (LUOSTARINEN *et al.*, 2018).

Outro ponto importante a ser observado é a produção de energia no processo da suinocultura. A análise de energia do sistema inclui uma avaliação do valor energético de entrada e saída, análise do índice de energia do sistema, a entrada de valor de energia proveniente de recursos naturais (ZHONG *et al.*, 2012).

Como visto, a avaliação e quantificação dos impactos ambientais da suinocultura, são pontos cada vez mais importantes, permitindo a aplicação de ferramentas de análises que possibilitam uma melhor visão global dos processos. Neste contexto, a análise de fluxos dos materiais (MFA) é uma delas, na qual permite compreender como os materiais fluem entre as atividades humanas e industriais, possibilitando uma maior rastreabilidade do consumo e descarte de materiais à natureza, além de ajudar na quantificação dos impactos ambientais das atividades da suinocultura e no desenvolvimento de práticas mais sustentáveis (VUNNAVA; SINGH, 2021).

Outra ferramenta que pode ser utilizada é a LCA (análise do ciclo de vida). Esta contribui para a análise de temas como demanda de energia, potencial de aquecimento global, eutrofização das águas, diversidade e consumo de ração. Alguns indicadores que são utilizados para mensurar esses itens são: Esgotamento da energia fóssil, potencial global de aquecimento, potencial de acidificação, potencial de eutrofização de água doce, potencial de eutrofização marinha, diversidade ecossistêmica, diversidade de espécies, diversidade genética, biodiversidade e razão de conversão de ração (RUCKLI *et al.*, 2021).

Dessa forma, torna-se fundamental a melhora da rentabilidade das fazendas mediante das atividades de diversificação e estabelecimento de novos caminhos a

seguir aptos a conciliar o uso dos recursos existentes com uma produção de qualidade (SALVIA; ANDREOPOULOU; QUARANTA, 2018).

### 3.3.1 Impactos ambientais da suinocultura

Com o aumento da produção em larga escala de carne suína, o setor tem se esforçado para o aperfeiçoamento, atualização e padronização. Entretanto, uma série de desafios têm surgido, incluindo o desperdício de alimentos, a disseminação rápida de doenças, o excesso de uso de antibióticos e questões de segurança alimentar. Em especial, a poluição ambiental resultante da negligência do manejo inadequado de dejetos suínos tornou-se uma grande ameaça para a produção sustentável de carne suína (ZHANG *et al.*, 2021).

Um dos problemas ambientais é causado pelo uso excessivo de água, principalmente para limpeza e resfriamento dos suínos. A extração de grandes volumes de água de boa qualidade e sua conversão em resíduos extremamente poluídos apresenta um grande risco de degradação ambiental, principalmente na atmosfera, águas subterrâneas e solos, bem como impactos na vida selvagem e na saúde humana. Devido a esses fatores, mesmo quando tratadas, essas águas ainda não atingem uma qualidade suficiente para serem inofensivos ao meio ambiente e à saúde humana (BAUTISTA; AGUILAR; GIJÓN-YESCAS, 2022).

A produção de carne suína para consumo humano é uma das fontes de carne que mais requer água doce para neutralizar os poluentes gerados pelo processo de produção (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021). A água é utilizada em diversas atividades, sendo necessária para a sobrevivência dos animais, para o manejo do rebanho, higiene das instalações e equipamentos, assim, o excessivo consumo de água mostra ser um aspecto negativo da suinocultura (GOMES *et al.*, 2014).

Além disso, a pegada hídrica da suinocultura é uma métrica importante que mede a quantidade de água necessária para produzir carne suína. De acordo com estudos, o valor estimado da pegada hídrica da suinocultura é de 21,34 metros cúbicos de água. A análise dessas fontes de uso de água revela que 78% do impacto ambiental é proveniente da fase de engorda dos suínos, enquanto a fase de desmame é o segundo contribuinte mais importante, representando 9% do impacto total (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021).

Por outro lado, o tratamento inadequado da água e a aplicação de irrigação resultam na formação de aerossóis contendo microorganismos patogênicos e

compostos orgânicos que causam odores. Além disso, esses compostos são tóxicos e podem gerar respostas inflamatórias, imunológicas, infecciosas ou toxicológicas, além de afetar o bem-estar físico, mental e social devido a sua conotação psicológica e cultural (BAUTISTA; AGUILAR; GIJÓN-YESCAS, 2022).

As fazendas de suínos podem causar sérios danos às águas, incluindo a eutrofização, devido à grande quantidade de nutrientes presentes na matéria orgânica do estrume, que pode levar à degradação da água e morte de organismos aquáticos pelo consumo do oxigênio (ÅKERMAN et al., 2020). Além disso, as águas residuais podem conter compostos perigosos como antibióticos, hormônios e outros produtos que podem contaminar as águas subterrâneas e serem prejudiciais à vida selvagem e humana. Adicionalmente, a presença de compostos orgânicos nas águas pode causar o desaparecimento de animais aquáticos e ser tóxico para a saúde humana (BAUTISTA; AGUILAR; GIJÓN-YESCAS, 2022).

As águas residuais suínas, que contêm altas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos, nitrogênio (N) e fósforo (P), são particularmente prejudiciais ao meio ambiente por promover a eutrofização cultural dos corpos hídricos e representar riscos ambientais e humanos. Para enfrentar esse desafio, o governo tem implementado regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas para prevenir o agravamento do impacto. No entanto, ainda falta uma solução eficiente para tratar adequadamente essas águas residuais nos campos (LEE; CHANG, 2022; LÓPEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2022).

Quanto maior a precipitação, maior o perigo de contaminação das águas subterrâneas, pois a chuva é o veículo pelo qual os poluentes aplicados na superfície da terra chegam ao aquífero, podendo assim afetar a qualidade da água subterrânea e a saúde humana. Além disso, ao descarregar águas residuais sem tratamento adequado, corre-se o risco de comprometer a biodiversidade e os ecossistemas ao redor, impactando negativamente a natureza (BAUTISTA; AGUILAR; GIJÓN-YESCAS, 2022).

Além disso, muitos rebanhos de suínos estão próximos aos fluxos de água, e, infelizmente, o estrume produzido por eles acaba poluindo rios e águas subterrâneas (DIEL *et al.*, 2020). O manejo inadequado do estrume suíno pode levar à contaminação de cursos d'água, águas subterrâneas, solo e ar, representando um risco para a sustentabilidade e expansão da suinocultura como atividade econômica (MADEIRA *et al.*, 2021).

Outra área que contribui para os impactos ambientais da suinocultura está relacionada à produção de ração, sendo considerada como um dos maiores fatores para a poluição de fazendas de suínos. Conseqüentemente, muito esforço tem sido feito na adaptação dos métodos alimentares e no desenvolvimento de formulações alternativas de dietas menos prejudiciais ao meio ambiente (PEXAS *et al.*, 2020).

O consumo de ração está relacionado com a ocupação do solo, cultivo de culturas, uso de fertilizantes, pesticidas e máquinas agrícolas. A gestão dos insumos agrícolas consome água e energia, e produzem gases nocivos como NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O. Estudos apontam que a ocupação do solo é a maior categoria de impacto (59,84%), seguida de danos ao sistema respiratório causados por inalação de substâncias inorgânicas (14,29%), consumo de recursos fósseis (9,97%), cancerígenos (7,86%), acidificação/eutrofização (5,18%) e alterações climáticas (1,90%). A criação de leitões e o consumo de ração durante a engorda são fortes contribuintes para a ocupação do solo e a presença de carcinógenos, já o manejo diário e o tratamento de esterco são apontados como principais contribuintes para os danos ao sistema respiratório, acidificação/eutrofização e mudanças climáticas (HUI *et al.*, 2016).

Fatores como a produção de ração, cultivo, transporte, uso de fertilizantes e pesticidas, criação de suínos e práticas agrícolas são responsáveis por esses impactos ambientais. Uma grande parte dos efeitos negativos é causada pela produção e pelo transporte de alimentos, que juntos representam mais de 80% dos impactos totais. A principal razão para isso se deve à grande quantidade de ração fornecida nos estágios finais de crescimento e engorda, cerca de 254 kg de ração por suíno nessas etapas (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021).

Por outro lado, a utilização maciça do esterco como fertilizante pode resultar em muitos problemas, incluindo transmissão de patógenos, eutrofização de corpos de solo e água, e a liberação de grandes quantidades de estufa e gases venenosos. O alto teor de metais pesados em estrume também representa um sério risco para a saúde humana, pois metais pesados podem entrar no corpo através da circulação natural (SU *et al.*, 2022).

Se o estrume não for gerenciado corretamente, pode resultar em emissões de gases de efeito estufa. De acordo com o potencial de aquecimento global (GWP), as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) provenientes do armazenamento de estrume são relatadas como 8 a 10 vezes maiores do que as de CO<sub>2</sub>. Vários outros desafios têm sido

colocados na reciclagem de estrume e, principalmente, entre eles está a liberação de odores e GEE. A emissão de odor é um desafio consistente, independentemente dos variados processos aplicados à reciclagem (AWASTHI *et al.*, 2019).

No entanto, a produção pecuária pode ter efeitos prejudiciais sobre o meio ambiente, produzindo grandes quantidades de gases de efeito estufa e emissões de amônia, e, assim, contribui para o aquecimento global, acidificação e eutrofização dos solos. Estima-se que a produção global de carne suína é uma importante fonte de emissão de gases de efeito estufa, contribuindo significativamente para o aumento desses gases na atmosfera (RUCKLI *et al.*, 2021).

A poluição dos meios atmosféricos provenientes do estrume de suínos está relacionada com a emissão de metano e dióxido de carbono, gases estes que contribuem para o efeito estufa e aquecimento global do planeta. Além disso, produzem odores desagradáveis e liberam amônia devido a volatilidade do ambiente que são armazenados (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017).

Além disso, os suínos são portadores de uma ampla variedade de patógenos infecciosos, o que torna necessária a implementação de um plano de biossegurança animal e alimentar, ou seja, aplicação de um conjunto de medidas para prevenir a entrada e propagação de agentes infecciosos no campo da suinocultura. Esse plano tem como objetivo evitar os riscos para as comunidades humanas próximas, incluindo doenças verminoses, bacterianas e virais provenientes dos animais, além de estresse, asma e preocupações com maus odores (BAUTISTA; AGUILAR; GIJÓN-YESCAS, 2022).

A pegada energética da suinocultura mede a quantidade de energia necessária para produzir carne suína. No estudo de Giraldi-Diaz *et al.* (2021), o resultado da análise foi de 1773,79 MJ por cada 124 kg de suínos. A fase de engorda foi identificada como a principal utilizadora de energia, representando 55% do total, seguida pela fase de desmame com 28%. As outras fases de produção, incluindo a criação, transporte, e manejo, foram responsáveis por 17% do uso total de energia (GIRALDI-DIAZ *et al.*, 2021).

Os processos de produção da suinocultura podem causar impactos diretos e indiretos ao meio ambiente, esses impactos estão relacionados tanto com os processos de criação como os demais processos relacionados à fabricação de insumos e tratamento de resíduos. De acordo com (GUTIERREZ *et al.*, 2018), podem ser classificados em:

- a) Ocupação de terras agrícolas: perda de terra como recurso devido à sua não disponibilidade para outras atividades;
- b) Mudanças climáticas: causadas pela emissão de gases do efeito estufa gerados por atividades antropogênicas;
- c) Esgotamento fóssil: extração e utilização de materiais fósseis como gás natural e combustíveis de origem do petróleo e carvão.
- d) Ecotoxicidade da água: impacto causado pelo descarte de metais pesados em águas doce e marinhas.
- e) Eutrofização de água: crescimento excessivo de algas devido aos altos níveis de nutrientes descarregados pelo material orgânico em águas doces ou marinhas;
- f) Toxicidade humana: riscos à saúde humana devido às emissões de metais pesados;
- g) Efeito estufa: esgotamento da camada de ozônio proveniente das emissões antropogênicas de substâncias e gases do efeito estufa;
- h) Formação de material particulado: liberação de partículas suspensas extremamente pequenas originadas dos processos;
- i) Acidificação terrestre: redução do pH do solo e acidificação causada por efeitos das emissões;
- j) Eco toxicidade do solo: efeitos tóxicos de produtos químicos em um ecossistema;
- k) Esgotamento da água: diminuição da disponibilidade de água;
- l) Uso de energia não renovável: consumo de fontes de energia não renovável e impactos ambientais.

De um modo geral, os suinocultores possuem uma certa dificuldade para o gerenciamento correto e tratamento dos resíduos gerados, devido ao grande volume de dejetos e a falta de estrutura adequada para o armazenamento e reaproveitamento (SECCO *et al.*, 2020). Além disso, o desenvolvimento de práticas circulares para a minimização dos impactos ambientais da suinocultura deve levar em consideração os custos de materiais (matérias-primas, materiais operacionais, água), custos de energia (combustível e eletricidade), custos de gestão de resíduos (tratamento e descarte) e custos adicionais (emissões de CO<sub>2</sub>) (BUX; AMICARELLI, 2022).

### 3.3.2 Recuperação de resíduos

Os resíduos provenientes da suinocultura e outras produções pecuárias têm causado grandes preocupações ambientais, devido ao seu impacto no meio ambiente. Deste modo, o desenvolvimento de novas tecnologias é essencial para agregar valor aos resíduos, possibilitando a criação de novos materiais alternativos e fontes de energia renovável para a minimização dos danos causados (MUHL; OLIVEIRA, 2022).

O desenvolvimento de novas tecnologias para a economia circular tem como objetivo reduzir os desperdícios de materiais e emissões, sem que sejam alterados os níveis de produção de uma região e a qualidade dos produtos (VUNNAVA; SINGH, 2021). A implementação dessas novas tecnologias visa a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos, recuperação de materiais e energia, substituição de matérias primas por materiais reutilizados e o processamento de biocombustíveis por meio de resíduos, além da prevenção ambiental do ambiente (KOWALSKI; MAKARA, 2021).

A escolha da tecnologia apropriada é crucial para atingir os resultados mais eficientes no processo e promover o crescimento de instalações de valorização ambiental. Nesta jornada, resíduos agrícolas como dejetos animais, palha residual e resíduos orgânicos de indústrias e residências são transformados em novos recursos. Além do biogás, também são produzidos biofertilizantes ricos em nitrogênio, fósforo e outros nutrientes essenciais, que podem ser utilizados para apoiar o crescimento e aumentar a produtividade das propriedades rurais (MOIOLI *et al.*, 2020).

Para proteger o meio ambiente e promover a produção pecuária sustentável é cada vez mais necessário o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias de valorização de resíduos, principalmente o tratamento do estrume no qual pode reduzir as emissões de gases do efeito estufa e poluição do solo e água, além de gerar novos recursos valiosos para a sustentabilidade (BEYERS *et al.*, 2022).

#### 3.3.2.1 Tratamentos biológicos

O tratamento biológico envolve o uso de microrganismos para reduzir a demanda de oxigênio dos resíduos animais e liberar nutrientes (DADRASNIA *et al.*, 2021). Assim, três técnicas primárias, incluindo compostagem, digestão anaeróbica e conversão termoquímica, são amplamente aplicadas para o descarte de estrume atualmente (SU *et al.*, 2022).

A digestão anaeróbica, também conhecida como planta de biogás, é uma técnica antiga de valorização de resíduos biológicos que oferece soluções para a poluição e a produção de energia (ZHANG *et al.*, 2022). A degradação da matéria orgânica é feita por microrganismos sem a presença de oxigênio, este processo bioquímico é comum na natureza, especialmente em áreas como pântanos, bactérias e outros microrganismos trabalham juntos para realizar um processo composto por quatro etapas, incluindo hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (NOYA *et al.*, 2017).

Antes do processo de digestão anaeróbica, é necessário a realização de um pré-tratamento do estrume para separação dos resíduos sólidos e águas residuais, no qual pode ser realizado por meio de uma peneira metálica para o fracionamento e remoção dos sólidos grosseiros, garantindo uma maior eficiência do biodigestor. O mesmo ocorre nos produtos gerados pela digestão anaeróbica, o biogás deve ser processado para limpeza, condicionamento e remoção de impurezas para posteriormente ser utilizado como combustível em motores, já o digestato é submetido a processos de tratamento para o líquido e frações sólidas a fim de se obter o biofertilizante e água (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017).

Deste modo, a digestão anaeróbica transforma matéria orgânica em biogás, composto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Durante esse processo, polímeros complexos são convertidos em monômeros através da ação de enzimas extracelulares durante a hidrólise, enquanto estes são convertidos em ácidos graxos voláteis (VFAs) e hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) na acidogênese. Em seguida, o acetato,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  são produzidos a partir de VFAs na acetogênese, e finalmente convertidos em metano na metanogênese, o resultado desse processo é o biogás e o digestato (BERNET; BÉLINE, 2009).

O biogás é formado majoritariamente por metano, bem como uma pequena quantidade de dióxido de carbono e outros gases, incluindo sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Embora seja inflamável e possa ser usado como fonte de energia térmica, é necessário purificá-lo antes de usá-lo em motores a combustão devido à sua alta capacidade corrosiva causada pelo  $\text{H}_2\text{S}$  (NOYA *et al.*, 2017).

O biogás gerado possui diversas aplicações para uma fazenda de suinocultura, sendo a mais importante a possibilidade de substituição do consumo de gás natural, assim, quanto maior a recuperação do biogás nos processos de digestão anaeróbica e seu posterior uso para geração de eletricidade ou aquecimento torna a

propriedade mais sustentável. Outro benefício está associado à redução das emissões de CO<sub>2</sub> para o uso do biogás quando comparado com o gás natural e outros combustíveis fósseis, contribuindo para uma maior eficiência energética e uma menor pegada de carbono na produção (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017).

A função principal das usinas de biogás é produzir e fornecer energia elétrica, seja à rede nacional ou diretamente à indústria agroalimentar, além de produzir calor como subprodutos. Os impactos positivos mais significativos foram identificados na melhoria da qualidade do ecossistema aquático, redução das emissões de gases de efeito estufa e mudanças climáticas, melhoria da saúde humana devido a ausência de substâncias cancerígenas, e a redução da dependência de fontes de energia não renováveis (MURADIN; JOACHIMIAK-LECHMAN; FOLTYNOWICZ, 2018).

Por outro lado, a digestão anaeróbica pode ser utilizada não só para produzir eletricidade e calor, mas também para gerar um produto secundário rico em nutrientes, chamado de digestado, essas instalações produzem quantidades significativas de biomassa colateral que pode ser reciclada no solo como fertilizante (MILLERS E PILVERE, 2021). O digestato é um material rico em nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), opção viável para fertilização agrícola. Embora esse processo reduza as características parasitológicas e microbiológicas prejudiciais, é importante usá-lo de forma responsável para evitar contaminações do solo (NOYA *et al.*, 2017).

Além disso, a co-digestão pode ser uma técnica de melhoria na digestão anaeróbica. Ela envolve a adição de diferentes tipos de biomassa ao sistema para melhorar sua eficiência, combinando diferentes fontes de biomassa, é possível produzir biogás de melhor qualidade e quantidade dos produtos de biogás e digestato, demonstrando também melhorias na viabilidade econômica (SOUSA *et al.* 2021). Além disso, o digestato resultante pode conter teores mais elevados de nitrogênio e fósforo, tornando-o mais adequado para uso como fertilizante. Dessa forma, a viabilidade econômica do sistema como um todo pode se tornar mais vantajosa (NOYA *et al.*, 2017).

Uma segunda técnica amplamente utilizada para tratar resíduos é a compostagem em esterqueiras. Estas consistem em uma estrutura com dois níveis onde é armazenado o líquido produzido por um período mínimo de 120 dias, de acordo com a normatização regulatória. Esse período é crucial, pois permite que os resíduos fiquem tempo suficiente para fermentar antes de serem transportados e utilizados

como adubo. Quando corretamente instalado e gerido, esse método apresenta bons resultados (GOMES *et al.*, 2014).

Apesar do tempo mínimo de 120 dias estabelecido pela legislação, o manejo de esterqueiras pode não garantir que o efluente gerado atenda aos padrões necessários para descarte em corpos hídricos. Além disso, a disposição constante dos sólidos no solo pode levar a sua sobrecarga. No entanto, as esterqueiras podem ser adaptadas para se transformarem em biodigestores simples, trazendo vantagens como a produção de biofertilizantes e a geração de biogás como fonte de energia (GOMES *et al.*, 2014).

Já a compostagem realizada por composteiras, é uma técnica antiga que visa tratar os resíduos da produção animal. O objetivo é transformar suas características químicas e físicas, resultando em um composto orgânico rico em nutrientes. Esse composto pode ser utilizado para aumentar a produtividade agrícola e ser vendido comercialmente. A compostagem acelera a decomposição da matéria orgânica em comparação com o processo natural, melhorando as condições para a atividade de microrganismos (GOMES *et al.*, 2014).

Assim, a compostagem pode ser caracterizada como processo aeróbico, onde o estrume é degradado em vapor d'água, CO<sub>2</sub>, calor e outros gases em condições controladas. O processo ajuda a reduzir a quantidade de resíduos pós-digestão e libera calor devido à decomposição da matéria orgânica. Fatores importantes como temperatura, umidade e níveis de oxigênio precisam ser considerados durante o processo, resultando em um fertilizante natural, porém não é uma fonte de energia. As emissões de metano durante a compostagem têm um impacto ambiental mais alto do que as emissões de CO<sub>2</sub> (AWASTHI *et al.*, 2019).

O composto orgânico é um adubo rico em nutrientes resultante da decomposição de matéria orgânica, esse método de gerenciamento de materiais orgânicos transforma esses resíduos em um material estável que pode ser usado para fertilizar diversos cultivos. Assim, a compostagem é uma prática sustentável que permite o reaproveitamento da matéria orgânica (NOYA *et al.*, 2017).

A vermicompostagem, também uma técnica de tratamento biológico, no qual utiliza-se minhocas para melhorar o processo de compostagem. Ela acelera a decomposição da matéria orgânica, melhora as suas propriedades físico-químicas, aumenta a presença de nutrientes importantes como nitrogênio, fósforo e potássio, e estabiliza o material final. Além disso, a vermicompostagem é uma estratégia

economicamente viável para pequenas propriedades, com baixo custo de instalação e operação. Isso pode ajudar a preservar o meio ambiente e aproveitar resíduos agrícolas, favorecendo a implementação de práticas de economia circular em pequenas escalas (NOYA *et al.*, 2017).

Já a biossíntese é um processo biológico realizado por seres vivos, relacionado com os processos anabólicos desses organismos. Estes seres vivos são capazes de produzir compostos químicos complexos a partir de elementos mais simples. Por exemplo, leveduras e outros microrganismos cultivados podem produzir enzimas que podem ser aplicadas em várias finalidades. Essas enzimas funcionam como biocatalisadores e podem ser usadas em cosméticos e medicamentos devido à sua capacidade de realizar uma função específica no organismo vivo (NOYA *et al.*, 2017).

Outra técnica mais recente para o tratamento de resíduos da suinocultura é a recuperação de nutrientes por meio de microalgas, uma técnica mais recente que tem se demonstrado eficiente e versátil. Esses micro-organismos são capazes de absorver nutrientes, como nitrogênio e fósforo, presentes em águas residuais. Além disso, as microalgas são capazes de realizar a fotossíntese com luz e gás carbônico, permitindo seu crescimento rápido e adaptabilidade a diferentes condições ambientais. Por essa razão, as microalgas podem ser cultivadas em águas residuais de origem animal, como dejetos, entre outros tipos de resíduos (NOYA *et al.*, 2017).

O fotobiorreator é uma técnica para o cultivo de micro-organismos sensíveis à luz, tais como microalgas ou algumas bactérias. Estes organismos são capazes de realizar a fotossíntese com a ajuda de uma fonte de luz, utilizando gás carbônico e luz para produzir energia. Algumas cianobactérias fototróficas, por exemplo, são capazes de acumular e armazenar substâncias como glicogênio, cianoficina, polifosfatos e polihidroxialcanoatos, que podem ser utilizadas na produção de bioplásticos. Microalgas cultivadas em fotobiorreatores também podem ser integradas a sistemas de digestão anaeróbica como uma forma de purificar o biogás, já que o processo de fotossíntese permite a fixação do CO<sub>2</sub> e a liberação de oxigênio. A biomassa dessas microalgas também pode ser aproveitada para fins adicionais, como na produção de bio-óleo ou na co-digestão anaeróbica (NOYA *et al.*, 2017).

Além disso, é possível utilizar resíduos animais e subprodutos agrícolas como alternativas viáveis para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis. As biorrefinarias necessitam de tecnologia especializada, mas oferecem a possibilidade

de produzir produtos com alto valor agregado, tais como bioetanol, biometano, fertilizantes e outros materiais de alternativa (NOYA *et al.*, 2017).

### 3.3.2.2 Tratamentos térmicos

Os tratamentos termoquímicos, como a incineração, combustão, gaseificação, pirólise e carbonização hidrotérmica, podem converter a biomassa em gases e cinzas e reduzir o volume de resíduos, todos esses processos usam calor, mas diferem quanto à temperatura, pressão e ausência ou presença de oxigênio. Essas técnicas visam transformar os resíduos da suinocultura em materiais úteis e seguros para o meio ambiente, consiste em aquecer os resíduos a altas temperaturas em uma reação química controlada, que elimina as impurezas e as bactérias presentes, produzindo um material estável e inodoro. Desse modo, são alternativas eficientes para a gestão de resíduos da suinocultura, pois reduzem o impacto ambiental e ajudam a preservar os recursos naturais (DADRASNIA *et al.*, 2021).

A incineração é uma técnica de tratamento térmico para lidar com resíduos orgânicos. Assim, é importante que os materiais que serão submetidos a este processo tenham baixo teor de umidade, pois isso evita a perda de energia necessária para aquecer a umidade presente. O resultado da incineração é o calor e outros gases, sendo comumente utilizado em países frios ou que possuem recursos limitados (AWASTHI *et al.*, 2019).

A combustão é realizada em aparelhos como caldeiras ou fogões, onde o calor gerado na reação pode ser aproveitado para vários fins. As cinzas produzidas durante o processo de combustão podem ser utilizadas como fertilizantes devido à presença de fósforo e fosfato. No entanto, é importante ter cuidado com a presença de metais pesados e outros contaminantes, sendo necessário um monitoramento das emissões de dióxido de carbono nesse processo (NOYA *et al.*, 2017).

Já a gaseificação é uma técnica de tratamento termoquímico que é usada para reciclar e gerenciar estrume, funciona a temperaturas acima de 700 °C, com pouco oxigênio ou vapor, tendo como resultado o *syngas* e o *char*. O *syngas* pode ser utilizado diretamente em um motor a gás, ou pode ser convertido em metanol ou hidrogênio, já o *char* pode ser aplicado em várias finalidades, incluindo melhoria do solo, entre outras (AWASTHI *et al.*, 2019).

Outra tecnologia bastante utilizada é a pirólise, que utiliza o processo de decomposição térmica por meio da ação do calor (geralmente entre 300°C e 500°C),

a estrutura molecular de resíduos é transformada em um ambiente sem ou com pouco oxigênio. Esta tecnologia pode ser utilizada na gestão de resíduos agrícolas para recuperar energia e produzir biochar, bio-óleo e gases voláteis (NOYA *et al.*, 2017).

A pirólise do estrume animal resulta em três produtos principais: biochar, bio-óleo e biogás. O biochar é um material sólido carbonáceo com alto teor de cinza e é amplamente utilizado como aditivo do solo para aumentar a fertilidade do solo. Também pode ser usado como adsorvente, sequestro de carbono, catalisador de pirólise e supercapacitor para armazenamento de energia. O bio-óleo é o produto mais valioso da pirólise, com grande potencial para substituir combustíveis fósseis na indústria de transporte. O biogás é produzido como um subproduto, mas seu valor de aquecimento é moderado devido ao baixo H/C do estrume (SU *et al.*, 2022).

A pirólise avançada de estrume animal é uma técnica utilizada para produzir biochar e biogás. A co-pirólise e a pirólise catalítica são as técnicas mais utilizadas, e a adição de co-matérias-primas tem um grande impacto na qualidade do produto final. A pirólise catalítica é promissora para melhorar o processo e propriedades do produto. A viabilidade da pirólise depende da eficiência do processo e disponibilidade de estrume animal, bem como fatores como investimento capital, apoio governamental, preço do produto e taxa de retorno (SU *et al.*, 2022).

O processo de tratamento de estrume animal via pirólise começa com a coleta do estrume nas fazendas e são transportados para a planta de pirólise. Após o pré-tratamento, incluindo secagem e moagem, o estrume é pirolisado junto com outros materiais, como plásticos, pneus, biomassa lignocelulósica e microalgas, e a adição de catalisadores pode melhorar ainda mais a qualidade do produto. O sistema de purificação trata as águas residuais ou gás tóxico gerado no processo de pirólise, e o sistema de controle monitora e controla todo o processo em tempo real. Assim, torna-se imprescindível um sistema de controle no qual ajuda a melhorar os lucros e reduzir os custos de produção (SU *et al.*, 2022).

Já a tecnologia de liquefação hidrotérmica (HTL), é uma técnica que usa calor com temperaturas que variam entre 249 e 374°C e pressão de até 22 MPa para transformar materiais orgânicos em bio-óleo. Esta técnica é versátil quanto à qualidade da matéria-prima que pode ser utilizada, e permite a reutilização do bio-óleo em outros combustíveis ou em produtos químicos de alto valor (AWASTHI *et al.*, 2019).

Por último, a decomposição térmica conhecida como pirólise é uma técnica que transforma a estrutura molecular de resíduos através da ação de calor em condições de pouco ou sem oxigênio. Este processo tem sido aplicado para gerenciar resíduos agrícolas e urbanos com o objetivo de recuperar energia e produzir *biochar*, bio-óleo e gases voláteis. A temperatura usada geralmente varia entre 300°C e 500°C (NOYA *et al.*, 2017).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No capítulo de resultados e discussão são apresentados os dados coletados com os as fazendas suinícolas para a mensuração do grau de familiarização e aplicação dessas tecnologias. E, em seguida, foi construído estratégias e um mapeamento de oportunidades para o desenvolvimento da circularidade na suinocultura, considerando os diferentes modelos de negócios, escalas e diferenças regionais.

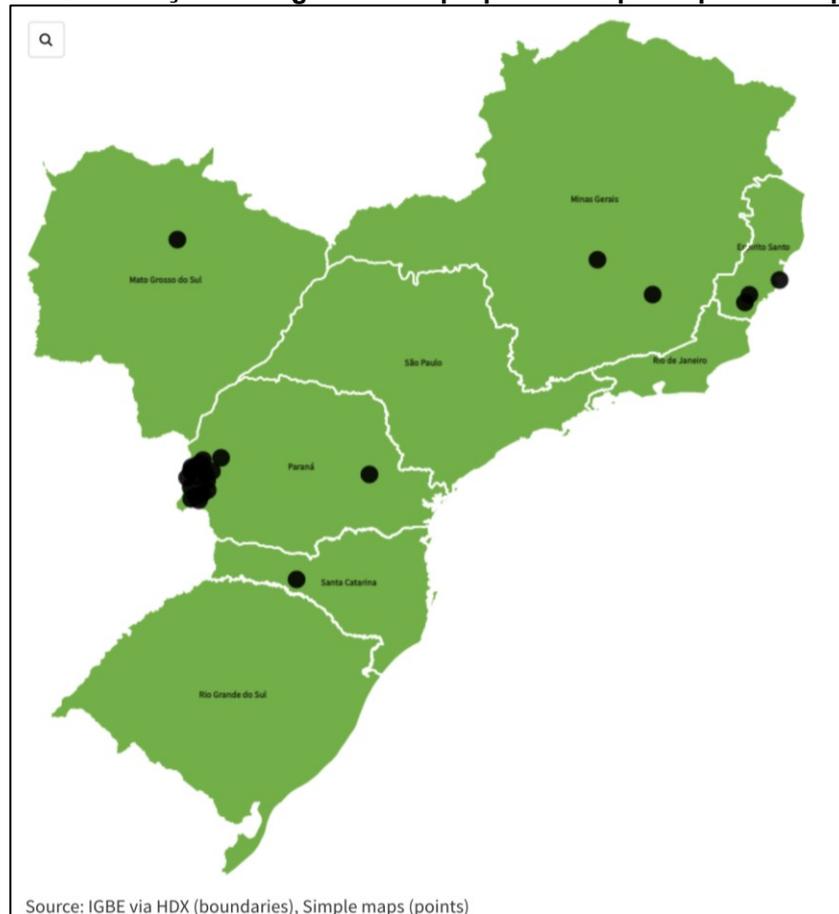
### **4.1 Panorama geral do setor**

A partir da análise dos resultados da pesquisa aplicada, foi possível construir uma caracterização dos modelos de negócios de acordo com as tendências do mercado de suinocultura. A região e contexto em que as fazendas estão inseridas possui grande influência no desenvolvimento sustentável, preocupações ambientais e níveis de desenvolvimento tecnológico, além de outros fatores como acesso a mão de obra qualificada e insumos. O modelo de produção também sofre interferência do clima, demanda de mercado, exigências governamentais e consumidores, podendo alterar o consumo de insumos e produção de resíduos. A seguir será apresentado um panorama do mercado no qual foi aplicado a pesquisa e seus insights.

#### **4.1.1 Classificação das propriedades suinícolas**

O foco principal da pesquisa foi abranger os estados da região Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, no qual está concentrado a maior parte da produção intensiva do país, sendo 66%, 18,8% e 13,9%, respectivamente no 1º trimestre de 2022 (IBGE, 2022). Deste modo, obteve-se 128 respondentes do questionário online por meio do Link, sendo eles presentes em 5 estados brasileiros (Paraná, Espírito Santo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Santa Catarina), abrangendo 25 cidades em diferentes regiões, conforme por ser observado na Figura 16, que indica a localização desses pontos.

**Figura 16 - Distribuição demográfica das propriedades participantes da pesquisa**

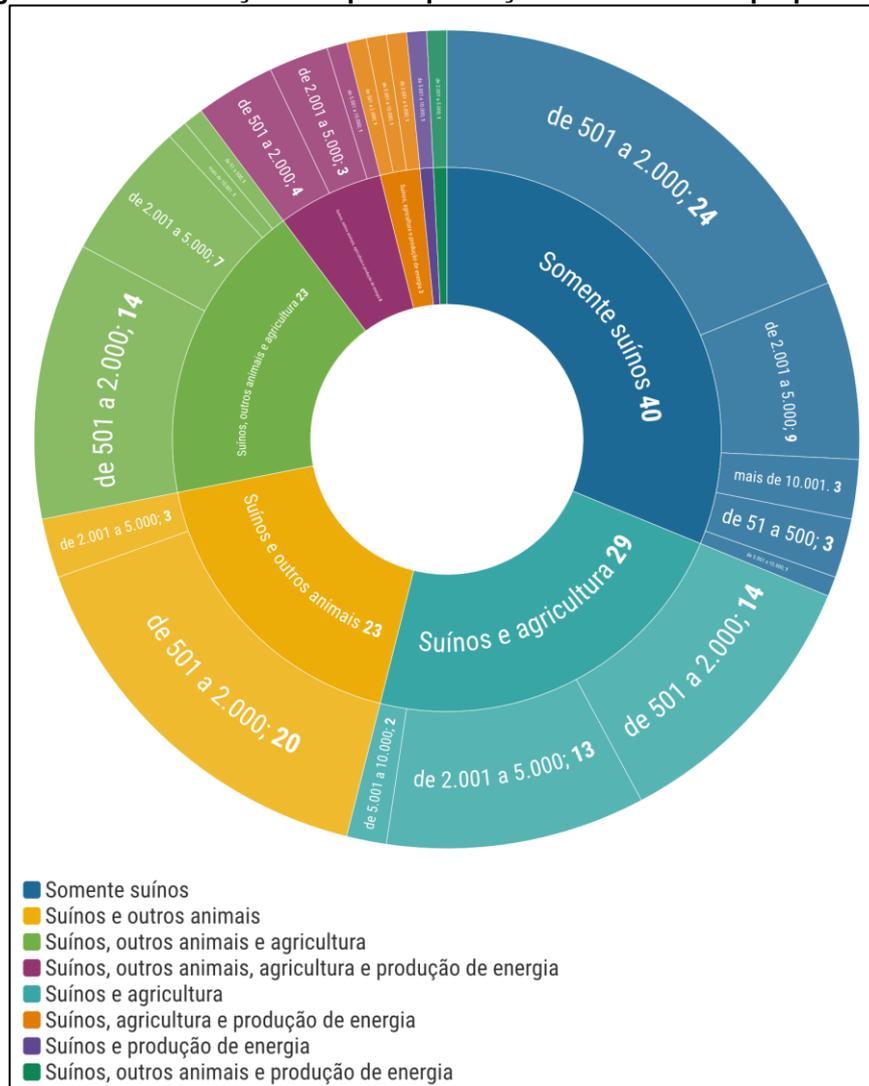


**Fonte: Autoria Própria (2022).**

Nota-se que apesar de se ter buscado uma maior diversificação das regiões, a maioria dos entrevistados está no estado do Paraná, em especial na região Oeste devido a maior facilidade de contato, com apoio das empresas e abatedouros. Já as demais aplicações foram realizadas a partir de indicações de outros contatos, consultores, veterinários e associações de granjas.

Para caracterização da propriedade também foi levado em consideração o modelo de negócios consoante as categorias de produção e o tamanho da suinocultura de acordo com a quantidade de cabeças de suínos produzidas. Na Figura 17 apresentada a seguir, é possível classificar os tipos de produção e a proporção das fazendas participantes da pesquisa.

**Figura 17 - Classificação do tipo de produção e tamanho das propriedades**



**Fonte: Autoria Própria (2022).**

Como um dos requisitos da pesquisa era ser uma fazenda com produção de suínos é notável que em todas as respostas está presente a atividade de suinocultura, sendo ainda a maioria das propriedades dedicadas exclusivamente para produção de suínos (40 respostas – 31,25%). Em seguida, as atividades de suinocultura e agricultura estão presentes em uma quantidade considerável (29 respostas – 22,65%), onde na maioria dos casos é cultivado insumos que servirão para a alimentação dos animais criados pela própria fazenda como grãos, cereais, árvores frutíferas, leguminosas e feno.

Além da produção de suíno, foi considerado a criação de outros animais na mesma fazenda como o gado de corte, gado de leite e aves (54 respostas – 42,18%), sendo estas 23 propriedades com apenas criação de vários tipos de animais, outras 23 fazendas com a criação de mais de um tipo de animal e agricultura e 8 delas com

produção e venda de energia além produções de pecuária e agricultura. Em menor quantidade também há propriedades com produção apenas de suínos, agricultura e energia (8), apenas suínos e produção de energia (1) e suínos, outros animais e a venda de energia (1).

Quanto ao tamanho da produção de suínos houve respostas de todas as classificações de fazendas, sendo o maior destaque para as propriedades com pelo menos 501 cabeças até 2.000 cabeças de suínos, sendo classificadas como uma produção de média escala (77 respostas – 60,15%), seguido pelas fazendas de grande escala de produção no qual possuem entre 2.001 e 5.000 cabeças de suínos (37 respostas – 28,90%). Também responderam 6 propriedades (4,68%) classificadas como escala semi industrial, com produções entre 5.001 e 10.000 cabeças, 4 produções (3,12%) classificadas como escala industrial (mais de 10.000 cabeças) e outras 4 propriedades (3,12%) categorizadas como pequenas produtoras (51 a 500 cabeças). Ainda salienta-se que não houve nenhuma resposta de propriedades classificadas como microprodução ou familiar, onde possuem até 50 suínos.

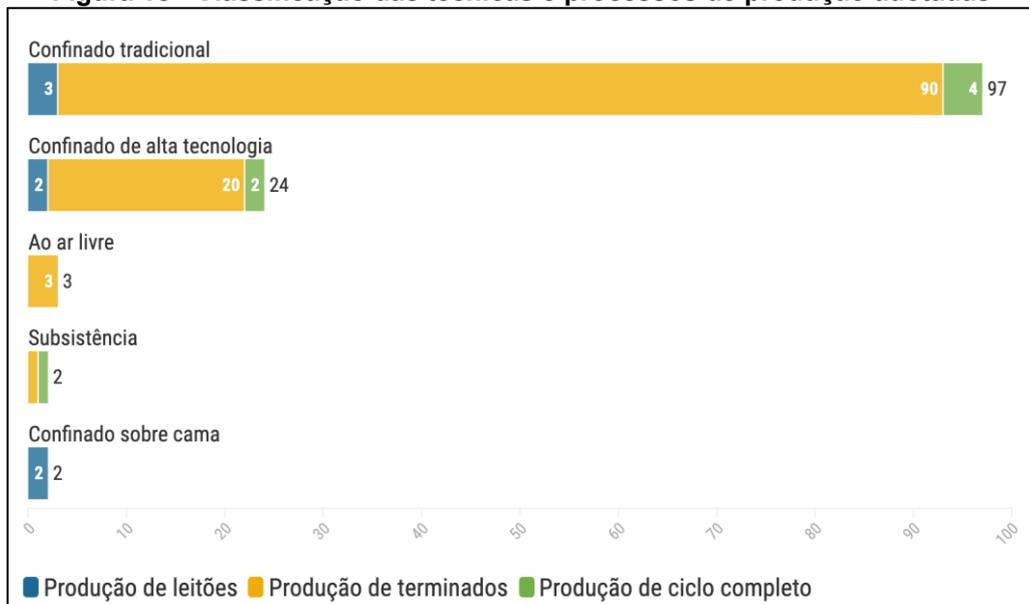
Outras classificações das propriedades suinícolas podem ser quanto ao seu tipo de produção adotado e a técnica produtiva. No caso dos tipos de produção foi feita a classificação em 4 grupos, sendo eles: (1) produção de ciclo completo, onde são consideradas todas as fases de produção dos suínos desde a gestação até a venda do animal para abate; (2) produção apenas de leitões, no qual considera-se apenas a fase de reprodução até o nascimento dos leitões que são vendidos para outras fazendas de criação; (3) produção de terminados, segue a continuidade da fase anterior onde é criado os leitões até a fase de terminação dos animais; e (4) produção de reprodutores, onde visa futuros reprodutores machos e fêmeas.

Já no caso das técnicas de produção pode-se separar em dois principais sistemas: produção extensiva de suínos, em que envolve a criação de porcos em espaços abertos como pastagens e florestas, possibilitando os animais se alimentarem de alimentos naturais e depender menos de ração artificial, geralmente envolve uma produção em menos quantidades, nesse tipo de produção pode se classificar a produção de subsistência e a produção agroecológica montanheira. Por outro lado, o sistema de produção intensivo é um processo de criação onde os animais são mantidos em ambientes fechados e controlados, sendo alimentados por ração pré-fabricada e suplementos alimentares para se obter um maior rendimento e produtividade, são frequentemente criados em grandes proporções e visa uma

maior eficiência, nesse sistema pode-se classificar as produções ao ar livre ou piquetes, produção semiconfinado com separação entre machos e fêmeas, confinado tradicional, confinado sobre cama e confinado de alta tecnologia.

Sobre as respostas do questionário foi classificado as fazendas de acordo com a técnica de produção adotada e assim classificadas de acordo com o tipo de produção, conforme pode ser visto na Figura 18.

**Figura 18 - Classificação das técnicas e processos de produção adotadas**



**Fonte: Autoria Própria (2022).**

Neste caso, a maioria das propriedades se classificaram dentro do sistema de produção intensivo de suínos, sendo a técnica de produção em confinamento tradicional a mais utilizada pelas fazendas, com 97 respostas (75,78%), dentre elas 92,78% (90 fazendas) possuem a produção apenas de terminados, excluindo a fase de reprodução, 4 fazendas (4,12%) atuam na produção de ciclo completo e outras 3 fazendas (3,09%) apenas na produção de leitões. A segunda técnica mais utilizada foi o confinamento de alta tecnologia, no qual visa o uso de técnicas avançadas para aumentar a eficiência, como automação da alimentação e limpeza, controle de temperatura, umidade, ventilação, iluminação e outros fatores, houve 24 (18,75%) fazendas que se classificaram nessa técnica, sendo a maioria (20 fazendas – 83,33%) produtores apenas na fase de terminados, além de 2 fazendas (8,33%) produtoras de leitões e outras 2 na produção de ciclo completo.

Também tiveram 3 fazendas (2,34%) que trabalham com a produção de suínos ao ar livre e estão exclusivamente no ciclo de produção de terminados. Outras

2 fazendas (1,56%) praticam a técnica de produção em confinamento sobre cama profunda e são especializadas especificamente na produção de leitões, no qual permite um ambiente mais limpo e confortável para o desenvolvimento saudável dos animais recém-nascidos. Quanto a técnica de produção extensiva, houve duas respostas de fazendas que se classificaram como produção de subsistência, sendo uma fazenda de produção de terminados e outra na produção de ciclo completo.

Todas as variáveis apresentadas anteriormente possuem relação direta com o desenvolvimento de práticas circulares pelas fazendas de suinocultura, uma vez que abordam o ambiente que estão inseridas, o seu tamanho e as técnicas de produção. A localização espacial das fazendas pode interferir na disponibilidade e necessidade de recursos para a produção, nas tecnologias disponíveis para o tratamento de resíduos, na forma de produção devido ao clima regional, além de outras regulamentações para a prática de suinocultura. O tamanho da fazenda interfere diretamente na disponibilidade de recursos para investimentos em novas tecnologias e na preocupação ambiental, possibilitando o uso de diferentes técnicas em níveis distintos. Já as técnicas de produção estão diretamente relacionadas com o gerenciamento da produção, influenciando no tipo, quantidade e qualidade dos resíduos e técnicas de manejo.

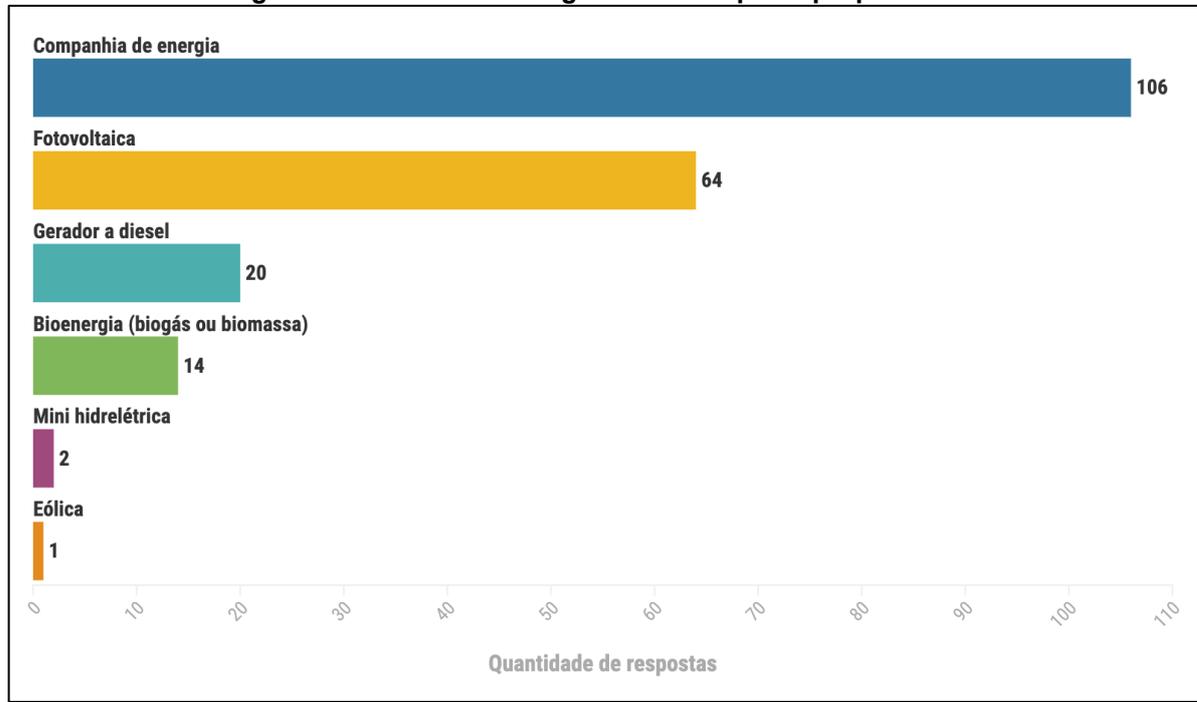
#### 4.1.2 Análise dos resultados da circularidade das fazendas

Após a caracterização das fazendas, a segunda parte do questionário aplicado teve como objetivo entender os fluxos de entrada e saída dos recursos para uma avaliação da circularidade das propriedades entrevistadas a nível geral, ou seja, buscou-se entender os níveis de maturidade e desenvolvimento das fontes de insumos e as técnicas de tratamento, recuperação e valorização de resíduos utilizadas, possibilitando identificar as áreas mais avançadas e os principais desafios ainda enfrentados pelos suinocultores.

A primeira análise foi feita consoante as fontes de energia utilizadas pelas fazendas, tendo como objetivo avaliar as potencialidades de melhoria na eficiência energética. Foram consideradas as fontes de entrada de energia na fazenda, podendo a mesma utilizar mais de um recurso para compor sua matriz energética, assim, as fontes de energia utilizadas pelas propriedades podem ter origem na rede de distribuição nacional, fontes de energia renovável, fontes de energia de valorização

ambiental e fontes provenientes de recursos fósseis. Na Figura 19 é apresentado um gráfico com o quantitativo de uso de cada uma das fontes de energia estudadas.

**Figura 19 - Fontes de energia utilizadas pelas propriedades**



**Fonte: Autoria Própria (2022).**

É possível notar que a principal fonte de energia utilizada pelas fazendas neste caso é a energia proveniente da rede de abastecimento nacional, adquirida por meio das companhias de energia (106 fazendas – 82,81%), é uma das fontes de energia de mais fácil acesso por parte das propriedades e com maior disponibilidade e consistência para a utilização, entretanto, a composição da origem dessa energia não está no controle dos utilizadores, podendo ser provenientes de fontes fósseis, renováveis, nuclear e outras. No caso do Brasil, a matriz de energia possui uma grande vantagem devido a maior presença de recursos renováveis, em 2021, a matriz elétrica brasileira foi composta por 82,9% fontes renováveis e 17,1% de fontes não renováveis, comparativamente com a média mundial que possui apenas 28,6% de fontes renováveis, o Brasil está entre os principais países com maior percentual de fontes renováveis do mundo (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2023).

Apesar da energia proveniente da rede apresentar um impacto minimizado, algumas propriedades também têm demonstrado interesse na aplicação de outras fontes de energia que não sejam dependentes da rede elétrica, uma vez que impacta diretamente nos custos de produção. A segunda fonte de energia mais utilizada é a

fotovoltaica, representando 64 propriedades (50% dos entrevistados), vale ressaltar que algumas fazendas possuem mais de uma fonte de energia utilizada fazendo com que a fotovoltaica seja uma fonte secundária nos processos de produção dos animais. O uso da energia solar pelos suinocultores pode trazer diversos benefícios ambientais e econômicos, garantindo uma fonte de energia renovável e limpa além da redução de custos, sendo essencial para o desenvolvimento da sustentabilidade no setor. Além disso, a energia fotovoltaica também pode ser uma alternativa vantajosa para suprir as necessidades de energia de regiões remotas que não possuem acesso à rede elétrica do país.

A terceira fonte de energia presente nas fazendas suinícolas foi os geradores a diesel (20 respostas – 15,62%), a única fonte de energia não renovável utilizada pelas fazendas, no qual pode causar impactos negativos ao meio ambiente devido a emissão de gases poluentes provenientes da queima do combustível, além de altos custos de produção em razão da necessidade de compra recorrente do diesel. Entretanto, vale ressaltar que em nenhuma das fazendas participantes esta fonte de energia foi classificada com a fonte principal, estando presente apenas em fazendas com duas ou mais fontes de energia, assim, pode-se concluir que esta fonte de energia está presente nas fazendas como uma solução complementar para emergências em caso de falhas no sistema energético.

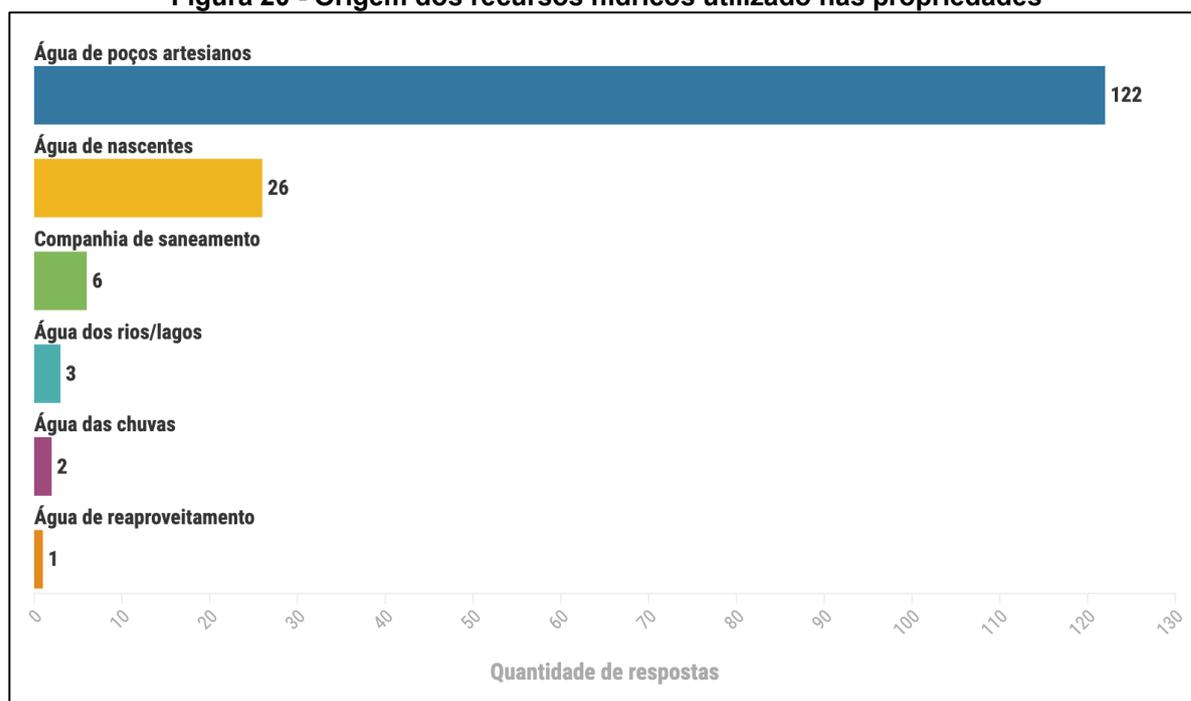
Outras fontes de energia utilizadas pelas fazendas também foram: bioenergia (14 fazendas – 10,93%), mini hidrelétrica (2 – 1,56%) e eólica (1 – 0,78%). Apesar de apresentarem um resultado menor quando comparado com as demais, essas fontes de energia são extremamente importantes para a composição energética do setor por se tratar de energias renováveis, possuindo um amplo campo de desenvolvimento para o futuro. No caso da bioenergia os principais desafios estão relacionados com a viabilidade econômica dos processos e o grau de conhecimento dos suinocultores para a sua implementação. A construção de mini hidrelétrica depende de altos investimentos e expressivos custos de manutenção das barragens, além da necessidade de grande disponibilidade de água no local. Já a energia eólica está condicionada ao relevo e a presença de locais com mais ventos, além da necessidade de altos investimentos e avaliação dos impactos ambientais causados ao ecossistema em geral.

Em outra análise dos dados energéticos, é possível perceber que mais da metade das fazendas possuem mais de uma fonte de energia utilizada em suas

atividades, sendo 53 propriedades (41,41%) com duas fontes e 13 propriedades (10,16%) com três fontes de energia. Este fator demonstra um grande interesse dos suinocultores em buscar fontes alternativas para o suprimento das necessidades energéticas dos processos de produção, contudo, ainda há grandes oportunidades e desafios para o aprimoramento de técnicas sustentáveis em busca de uma transição energética para um sistema 100% renovável. Muitas fazendas ainda não conseguem reaproveitar seus resíduos para produção de energia, devido aos custos de investimentos e viabilidade econômica de acordo com as características de produção, enfatizando ainda mais a necessidade da construção de estratégias que tornam novas tecnologias mais acessíveis e sustentáveis para diferentes fazendas suinícolas.

Entretanto, a diversificação das fontes de energia por parte dos suinocultores demonstra uma preocupação com a eficiência energética e sustentabilidade das fazendas. Entre as 53 fazendas que possuem duas fontes de energia, a maioria utiliza a rede nacional como fonte principal de suprimento (49 fazendas), sendo as fontes secundária fotovoltaica (36), gerador a diesel (7), bioenergia (4), mini hidrelétrica (1) e eólica (1). O restante das fazendas utiliza energia fotovoltaica e bioenergia como fonte principal (3) e fotovoltaica com suporte do gerador a diesel (1). Já as 13 fazendas com 3 fontes de energia em seu sistema de produção apresentaram as seguintes classificações: companhia de energia somadas a bioenergia e o uso de gerador a diesel (13); companhia de energia mais fotovoltaica e gerador a diesel (9); e companhia de energia em conjunto com fotovoltaica e mini hidrelétrica (1).

Em seguida, a segunda avaliação envolveu a classificação da eficiência na utilização de água para as atividades da fazenda. O objetivo foi identificar as fontes de extração dos recursos hídricos e os impactos diretos causados ao meio ambiente, possibilitando identificar novas oportunidades para a redução do desperdício deste recurso e aumento da sua eficiência a partir das fontes de reaproveitamento e minimização da captação deste recurso natural. Na Figura 20, está apresentado as principais fontes de energia utilizada pelas fazendas entrevistadas.

**Figura 20 - Origem dos recursos hídricos utilizado nas propriedades**

Fonte: Autoria Própria (2022).

O uso de água nos processos de suinocultura possui diversas funções como por exemplo a água consumida pelos suínos, lavagem e higienização das pocilgas, resfriamento e controle da temperatura ambiente, entre outros processos. A água utilizada deve ser limpa e livre de impurezas para garantir uma maior qualidade na produção, evitar a contaminação e mitigar os riscos de disseminação de doenças. Por outro lado, o alto consumo de água torna-se um desafio para os suinocultores manter a sustentabilidade do recurso, especialmente em países mais quentes que usam mais água para resfriamento, sendo necessário a construção de processos que possam manter a captação, utilização, tratamento e descarte de forma circular nas fazendas, de modo a reduzir os impactos ambientais gerados ao ecossistema (HUONG et al., 2020).

No caso das fazendas entrevistadas, a maioria utiliza água proveniente de poços artesianos (122 propriedades – 95,31%) em seus processos, sendo umas das principais fontes de suprimento desse recurso devido a sua disponibilidade em lençóis subterrâneos. A água extraída dos poços artesianos pode ser considerada um recurso renovável se for utilizada de forma sustentável, dependendo do local e das condições hidrológicas da região e os impactos ambientais causados na extração. Dessa forma, compete aos suinocultores a gestão dos poços e a extração de forma responsável para manter a preservação da fonte, uma vez que a extração excessiva de água e a

má gestão pode levar a escassez no futuro. Por outro lado, a sustentabilidade do desse sistema na suinocultura só pode ser determinada a partir de uma análise dos fluxos da água, mantendo a extração, uso e descarte desse recurso de forma sustentável e renovável com o mínimo de impacto ao meio ambiente, assim, a circularidade pode ser alcançada por meio de técnicas de redução no consumo, reutilização em outros processos e o tratamento desse insumo para posterior descarte à natureza, independente da fonte utilizada.

A segunda forma de extração dos recursos hídricos mais utilizada nas fazendas é a água de nascentes (26 fazendas – 29,31%), essa fonte de água também pode ser considerada um recurso sustentável e renovável a depender do local e condições hidrológicas da região. As nascentes são fontes de água subterrânea que brotam na superfície e formam uma fonte desse recurso, a qualidade da água é geralmente boa uma vez que passa por processos de filtragem natural antes de chegar à superfície. Além disso, o uso da água das nascentes deve ter certos cuidados, como a preservação do local, da vegetação e a manutenção dos recursos, possibilitando preservar o sistema e garantir a captação de água por mais tempo. Da mesma forma que a extração anterior, o uso circular das águas das nascentes se torna essencial para conservação do ecossistema e minimização dos impactos ambientais causados.

Outra fonte de água utilizada pelas fazendas foi a água proveniente da companhia de saneamento, totalizando 6 fazendas (4,68%). Essa fonte garante uma água limpa e pura para o uso nos processos da suinocultura, entretanto, a sua fonte de extração muitas vezes é proveniente de rios e outras represas que possuem um maior impacto ao ambiente, além de ser necessário o uso de diversos processos de tratamento que utilizam produtos químicos (cloro, sódio, Ferro, alumínio, policarbonato e outros) para manter a água limpa. Essa fonte pode ser considerada a menos sustentável quando comparada com as demais, uma vez que possui um impacto mais agressivo ao ambiente e aumenta os custos de produção das fazendas, assim, manter a sua circularidade no uso e correto descarte é extremamente importante.

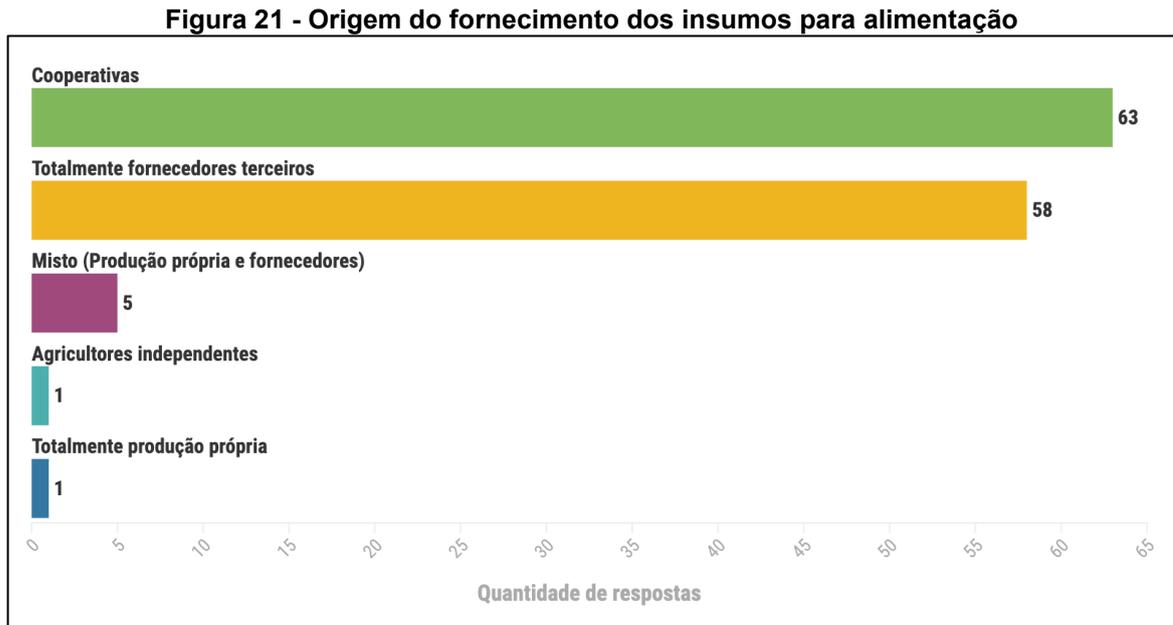
Outras fontes menos utilizadas foram: rios e lagos (3 – 2,34%), águas das chuvas (2 – 1,56%) e águas de reaproveitamento (1 – 0,78%). A extração de água dos rios e lagos para o uso na suinocultura também pode ser um meio sustentável, quando considerados os impactos ambientais causados às espécies aquáticas. O seu consumo deve ser pensado de forma circular, mantendo sempre a qualidade da água extraída de forma a garantir uma maior segurança alimentar do ambiente e minimizar

o potencial de contaminação, em seguida, antes do descarte, devem ser corretamente tratadas para a disposição final ao sistema. Outra fonte que ainda é pouco explorada na suinocultura é o reaproveitamento de águas das chuvas por meio de reservatórios que escoam e armazenam a água de forma sustentável, essa fonte apresenta um grande potencial de uso uma vez que não possui impactos diretamente relacionados a sua extração, entretanto, possui uma grande dependência de condições climáticas que podem causar insegurança nos processos de produção, sendo um dos principais fatores para a pouca adesão (RODIAS et al., 2021). Por último, apenas uma fazenda demonstrou utilizar águas de reaproveitamento na suinocultura, onde é capaz de realizar o tratamento das águas residuais e de outros processos para posterior reutilização em etapas com pouco valor agregado e menor risco para a criação de suínos, apresentando um potencial meio de circularidade nos fluxos de água da fazenda.

No caso das fontes de água é possível notar que há uma menor preocupação dos suinocultores com a diversificação da extração dos recursos e os impactos ambientais causados, a disponibilidade desse recurso e a facilidade na extração pode levar ao pensamento de que é um recurso abundante e infinito, o que torna as fazendas muito dependente da água como insumo básico e aumenta a pressão sobre as fontes hídricas locais. Entre os respondentes da pesquisa, 98 fazendas (76,56%) demonstraram utilizar apenas uma fonte de extração de água para o consumo nas fazendas, sendo a principal o uso de poços artesianos (93), nascentes (4) e companhia de saneamento (1). Em seguida, 28 propriedades (21,88%) utilizam duas fontes de água para abastecimento da fazenda, sendo a maioria composta por águas de poços artesianos e águas de nascente (19), entre outras combinações de águas das chuvas, rios e lagos e companhia de saneamento (9). Por último, 2 fazendas (1,56%) assinalaram utilizar três fontes de recursos, sendo sistema composto por água de poços artesianos, água de nascentes e em complemento a água proveniente da companhia de saneamento.

A terceira fonte de entrada abordada pela pesquisa foi referente à origem dos insumos utilizados para alimentação dos suínos nos processos de engorda. Para manter a circularidade das fazendas é importante que os fluxos de materiais de alimentação sejam organizados de forma a minimizar o impacto ambiental e garantir a sustentabilidade do sistema. Além disso, a origem e qualidade dos insumos é fundamental para garantir uma maior segurança dos alimentos produzidos e o bem-

estar dos animais. Foi considerada a origem dos insumos utilizados para alimentação dos suínos de forma a promover a utilização e consumo de fontes de insumos locais e de baixo impacto ambiental, com o foco de desenvolver a agricultura sustentável e a economia local. Deste modo, na Figura 21 está apresentado o gráfico das fontes de insumos para a alimentação dos suínos.



**Fonte: Autoria Própria (2022).**

A economia circular também visa estabelecer uma gestão mais eficiente dos fluxos de insumos, a fim de garantir a qualidade e sustentabilidade dos processos produtivos na cadeia de suinocultura. Manter a produção e fornecimento de produtos agrícolas e ração próximos às fazendas podem facilitar a integração de simbiose industrial entre as empresas, de forma a reduzir os impactos ambientais gerados como a diminuição do transporte e emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, adotar práticas circulares na cadeia de suinocultura pode levar a uma produção mais eficiente e sustentável, trazendo benefícios econômicos devido a redução de custos e minimização dos impactos causados.

A maioria das fazendas utilizam insumos de alimentação provenientes de fontes externas, no qual visam a compra de ração e outros alimentos de fornecedores especializados, possibilitando assim um produto de alta qualidade nutricional e preços competitivos. Entre as fazendas entrevistadas, 63 (49,21%) utilizam as cooperativas como fonte de fornecimento de insumos, assim, permite uma melhor negociação entre os associados e garante alimentos de melhor qualidade e tecnologias avançadas para

a nutrição dos animais, aumentando a eficiência e a produtividade da suinocultura. Outro benefício das cooperativas está no suporte empresarial e a oferta de treinamentos técnicos aos suinocultores, o que pode auxiliar na transição de práticas de produção mais sustentáveis e eficientes que contribuem para a competitividade das fazendas.

A segunda fonte de insumos mais utilizada são fornecedores terceiros (58 fazendas – 45,31%), tendo em vista que a alimentação é comprada diretamente de outros fornecedores é possível garantir benefícios de eficiência e flexibilidade no fornecimento de ração e insumos nutricionais. Além disso, os fornecedores de insumos podem contribuir positivamente nos produtos da fazenda, a partir da aplicação de tecnologias avançadas e *know-how* de qualidade alimentar e nutricional. No entanto, é imprescindível que os suinocultores escolham fornecedores confiáveis e com alta qualidade nos produtos, de forma a garantir melhores resultados no crescimento dos suínos e evitar problemas posteriores com seus produtos.

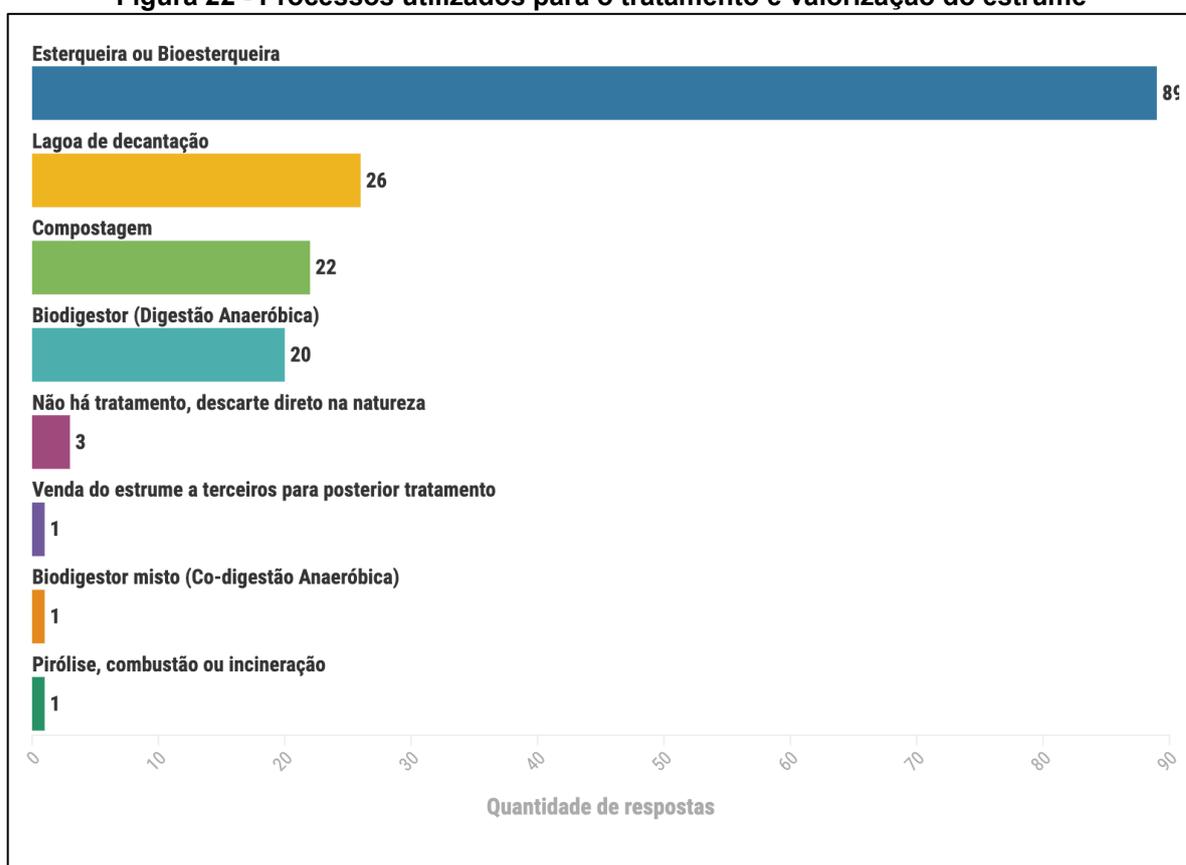
Apenas 5 fazendas (3,90%) utilizam uma forma mista de insumos para alimentação dos suínos, ou seja, uma parte da ração é comprada de fornecedores externos e outra parte é produzida pela propriedade dentro da sua área. Dessa forma, é possível garantir uma maior circularidade em seus processos, uma vez que os resíduos gerados na suinocultura podem ser introduzidos em técnicas de valorização ambiental, e, posteriormente, aplicado como fertilizantes no plantio dos alimentos que servirão para alimentar os suínos. A aplicação de técnicas circulares na produção de alimentos pode minimizar os impactos ambientais e trazer ganhos financeiros para as fazendas, além disso, a combinação da pecuária e agricultura em uma mesma fazenda nem sempre se resume apenas no cultivo de alimentos para os suínos, sendo possível o cultivo de outras culturas ou até mesmo insumos para a produção de ração por outras fábricas, esses processos também contribuem para sustentabilidade da propriedade a partir da valorização ambiental e dos resíduos gerados.

Por último, apenas uma fazenda (0,78%) adquire os insumos a partir de produtores independentes e outra fazenda (0,78%) possui eficiência própria no suprimento alimentar dos suínos. No caso da compra de insumos de produtores independentes pode ser um benefício para a fazenda, uma vez que a criação de um contrato com propriedades vizinhas possa vir a desenvolver uma simbiose entre as fazendas no fornecimento mútuo de insumos para seus processos de produção, além disso, a compra de insumos de produtores independentes pode facilitar o

abastecimento de materiais específicos para uma melhor alimentação dos suínos. Já no caso da produção própria em totalidade, é possível notar um maior avanço tecnológico das fazendas para o desenvolvimento de práticas circulares que possam beneficiar ambos os processos de produção. Outro benefício da produção própria está na redução dos custos de compra de materiais e transporte, garantindo uma melhor eficiência ambiental e mais segurança alimentar.

Em seguida, a segunda etapa da pesquisa aplicada abordou a gestão de resíduos e a busca por soluções sustentáveis para o tratamento, valorização e descarte destes materiais. O objetivo foi identificar os processos já utilizados pelas fazendas atualmente bem como os produtos gerados em cada tratamento, no qual contribuem para a preservação do meio ambiente e minimização dos impactos negativos na região. O primeiro processo abordado foi o gerenciamento e valorização do estrume por parte dos suinocultores, assim, na Figura 22 está apresentado as principais técnicas utilizadas pelas fazendas para o gerenciamento do estrume.

**Figura 22 - Processos utilizados para o tratamento e valorização do estrume**



Fonte: Autoria Própria (2022).

O uso de esterqueiras foi a principal tecnologia aplicada pelos suinocultores para o tratamento dos resíduos de estrume, sendo aplicada por 89 fazendas (69,53%). As esterqueiras são estruturas que permitem a coleta, armazenamento e decomposição de excrementos animais para o uso posterior como fertilizante orgânico. Já as bioesterqueiras, também conhecidas como biodigestores, aceleram este processo através da adição de bactérias que decompõem a matéria orgânica em condições controladas. Ambos os tipos de esterqueiras oferecem benefícios para suinocultores, incluindo a redução de odores, o aproveitamento de dejetos animais como fonte de nutrientes para as culturas, e a diminuição da quantidade de poluentes na água e no ar. Além disso, a utilização de bioesterqueiras também pode gerar gás metano, que pode ser usado como fonte de energia para a propriedade

Outras 26 fazendas (20,31%) utilizam Lagoas de decantação em seus sistemas de tratamento de resíduos, esse sistema permite a separação de água e partículas sólidas presentes nos excrementos animais. Nestas lagoas, a água é mantida por um período determinado, permitindo que os sólidos sejam depositados no fundo e a água seja clarificada através de processos biológicos de decomposição. Esta água clarificada pode ser reutilizada na propriedade ou liberada em corpos hídricos, enquanto os sólidos são compostados e transformados em fertilizante orgânico (CANDIDO *et al.*, 2022; WANG *et al.*, 2017).

Já o processo de compostagem foi aplicado por 22 propriedades (17,18%), neste processo, os excrementos animais são misturados com outros materiais orgânicos, como palha, serragem ou restos de culturas, e mantidos em condições controladas para acelerar a decomposição. Ao longo do tempo, a matéria orgânica se decompõe, liberando nutrientes e produzindo um material rico em húmus, conhecido como composto. Este composto pode ser utilizado como fertilizante orgânico nas culturas, proporcionando uma alternativa sustentável e econômica às fontes sintéticas de adubos (DO *et al.*, 2022).

Outra tecnologia bastante presente entre os suinocultores é o uso da digestão anaeróbica em biodigestores, sendo aplicada por 20 propriedades (15,62%). Os biodigestores são sistemas de tratamento de resíduos de estrume de suínos que aceleram a decomposição da matéria orgânica através do uso de bactérias. Nestes sistemas, os excrementos animais são coletados e misturados com outros materiais orgânicos em tanques fechados, onde são mantidos em condições controladas para a decomposição. A decomposição da matéria orgânica pelas bactérias produz biogás,

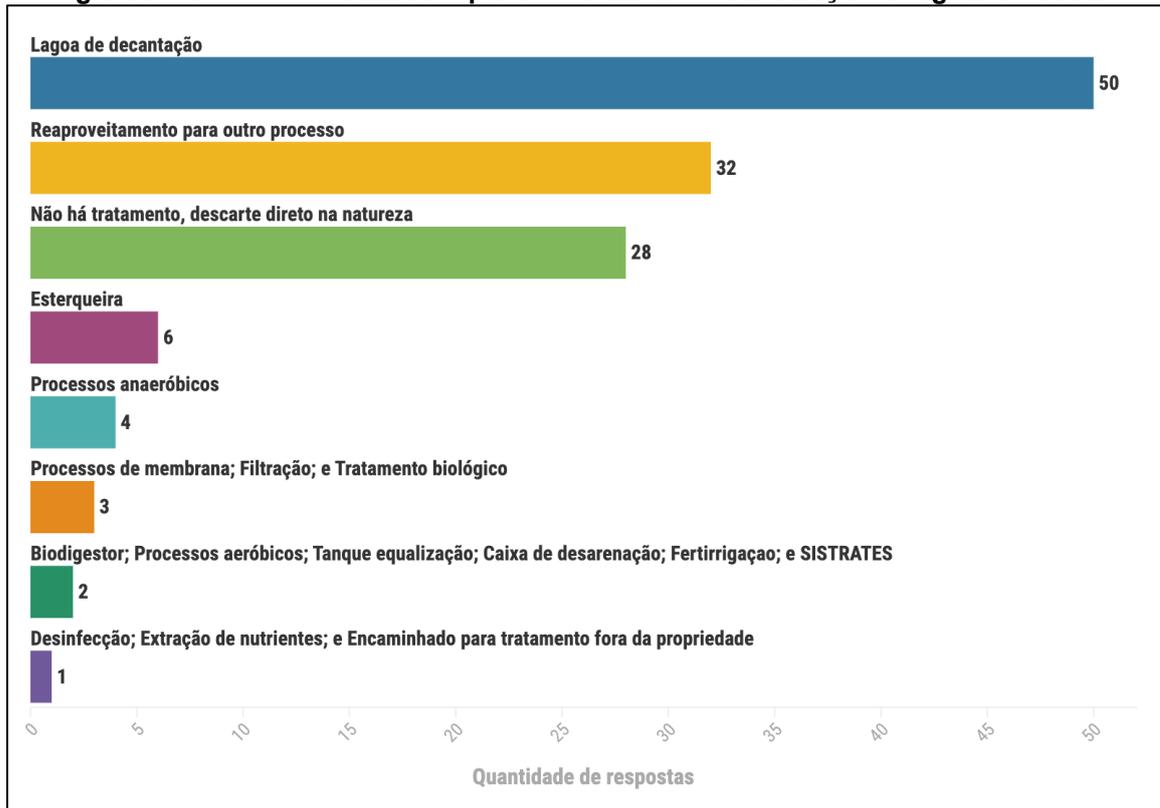
composto por metano e dióxido de carbono, que pode ser capturado e utilizado como fonte de energia na propriedade. Além disso, o líquido resultante da digestão é uma fonte de nutrientes para as culturas e pode ser reutilizado como adubo (SOARES *et al.*, 2020).

Três fazendas (2,34%) declararam que não fazem nenhum tipo de tratamento ou valorização dos resíduos dos suínos antes do descarte ao meio ambiente, dessa forma, são classificadas como fontes altamente poluidoras. O descarte inadequado dos resíduos dos suínos pode contaminar o solo e as águas subterrâneas, prejudicando a saúde humana e dos animais, além de prejudicar a qualidade de vida das comunidades locais (WEN-CONG; YONG-XI; BERGMANN, 2014).

A gestão dos resíduos gerados pelos produtores de suínos varia conforme o tamanho da fazenda. Na província de Henan (China), por exemplo, 36,8% dos pequenos produtores, que têm entre 50 à 2000 cabeças finalizadas por ano, optam por descartar o chorume (fração líquida) diretamente nas valas externas e reutilizar os estrumes (fração sólida) como fertilizante para a produção agrícola. Já 18% destes pequenos produtores construíram plantas de digestão anaeróbica para lidar com a lama de biogás. Por outro lado, 70% dos produtores de média escala (2000 a 5000 cabeças) e os de grande escala (> 5000 cabeças) utilizam a digestão anaeróbica, em grande parte devido a incentivos governamentais (ZHANG *et al.*, 2021).

O segundo bloco de tecnologias de valorização ambiental pesquisado foi tecnologias relacionadas como tratamento de águas residuais, dessa forma, foi questionado as tecnologias utilizadas pelos suinocultores para o tratamento das águas residuais antes do seu devido descarte ao meio ambiente. Assim, o ranking das técnicas mais utilizadas está apresentado na Figura 23.

A técnica mais utilizada foi as lagoas de decantação, presente em 50 propriedades (39%). As lagoas de decantação são uma técnica comumente utilizada para tratar águas residuais de suínos, funcionam por meio de processos físicos, químicos e biológicos, removendo poluentes e matérias orgânicas da água. A água é lentamente circulada por meio de diferenças de densidade, permitindo que partículas e substâncias pesadas sejam sedimentadas no fundo da lagoa, enquanto a água mais clara é liberada na superfície. Além disso, as lagoas de decantação também promovem a proliferação de bactérias benéficas que degradam matérias orgânicas presentes na água (WANG *et al.*, 2017).

**Figura 23 - Processos utilizados para o tratamento e valorização de águas residuais**

Fonte: Autoria Própria (2022).

Uma quantidade considerável de propriedades faz o reaproveitamento de águas residuais em outros processos na própria produção de suínos, sendo presente em 32 fazendas (25%). Depois de passarem por um processo de tratamento adequado, as águas residuais podem ser reutilizadas em outros processos, como irrigação, geração de energia, fabricação de produtos químicos e muitos outros. Isso não só ajuda a preservar recursos hídricos valiosos, mas também pode ajudar a reduzir os custos e a melhorar a eficiência energética, essa prática vem sendo cada vez mais comum em muitos setores industriais e agrícolas. Além disso, o reaproveitamento de águas residuais também contribui para a preservação do meio ambiente, já que reduz a demanda por água potável e ajuda a evitar a poluição dos corpos d'água (BORTOLI *et al.*, 2022).

Apesar de algumas regulamentações e legislações ambientais, 28 fazendas (21,87%) demonstraram não realizar o tratamento de águas residuais da suinocultura antes de realizar o descarte na natureza, sendo uma grande preocupação para os recursos hídricos atualmente. Essas fazendas representam uma ameaça significativa ao meio ambiente e à saúde pública, uma vez que a água contaminada pode conter

vários poluentes, incluindo produtos químicos, resíduos animais e patógenos, que podem afetar negativamente a qualidade da água e do solo.

A gestão adequada dessas águas residuais se torna cada vez mais essencial para atender ao aumento da demanda por água e recursos naturais, especialmente no setor agroalimentar. A crescente quantidade de águas residuais geradas pelos processos de criação animal passa por desafios na sua gestão ambiental e tecnológica, sendo uma prioridade para garantir o uso sustentável dos recursos hídricos e promover a qualidade de vida (COLELLA *et al.*, 2021).

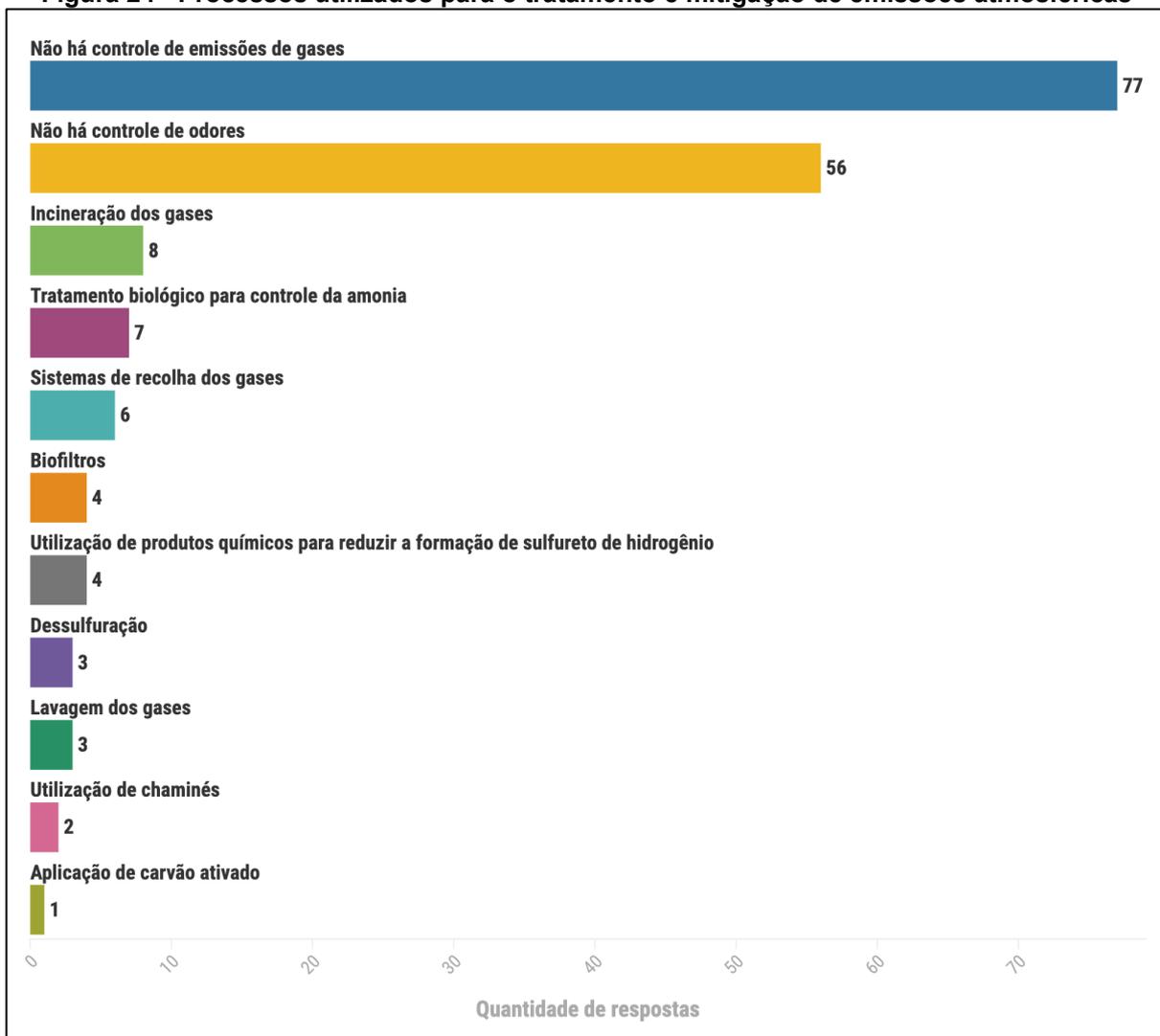
Além disso, pode haver risco de contaminação de rios, lagos e aquíferos, prejudicando a biodiversidade e afetando comunidades locais que dependem desses recursos para sua subsistência. Dessa forma, as fazendas que descartam águas residuais sem tratamento adequado podem ser responsabilizadas por causar danos ambientais e sanitários, e estão sujeitas a sanções administrativas e financeiras, conforme estabelece a legislação ambiental (BORTOLI *et al.*, 2022).

A terceira pergunta sobre as tecnologias de tratamento de resíduos utilizadas pelas fazendas de suinocultura estava relacionada com a minimização dos impactos causados pelas emissões atmosféricas e o odor. Assim, os resultados aplicados estão apresentados na Figura 24.

Um número considerável de fazendas (77 – 60,15%) não fazem nenhum tipo de tratamento de gases e emissões atmosféricas causadas. Isso pode resultar em graves impactos ambientais, como a emissão de gases poluentes, como dióxido de carbono, metano e amônia, que contribuem para o aquecimento global e a mudança climática. Além disso, essas emissões podem afetar a qualidade do ar e prejudicar a saúde humana e dos animais, causando problemas respiratórios e outras doenças (VANEECKHAUTE *et al.*, 2018).

E, 56 fazendas (43,75%) apontaram não fazer também nenhum controle do odor emitido no manejo e gerenciamento dos resíduos da suinocultura. O controle de odor é importante para preservar a qualidade de vida das comunidades locais e proteger o meio ambiente. As fazendas que descartam resíduos animais sem tratamento adequado podem liberar cheiros desagradáveis e prejudicar a saúde humana, causando problemas respiratórios e outras doenças, além disso, o mau cheiro pode afetar a qualidade da vida das pessoas nas comunidades próximas à fazenda, prejudicando sua capacidade de desfrutar do ar livre e dos espaços públicos (SILVA *et al.*, 2021).

**Figura 24 - Processos utilizados para o tratamento e mitigação de emissões atmosféricas**



Fonte: Autoria Própria (2022).

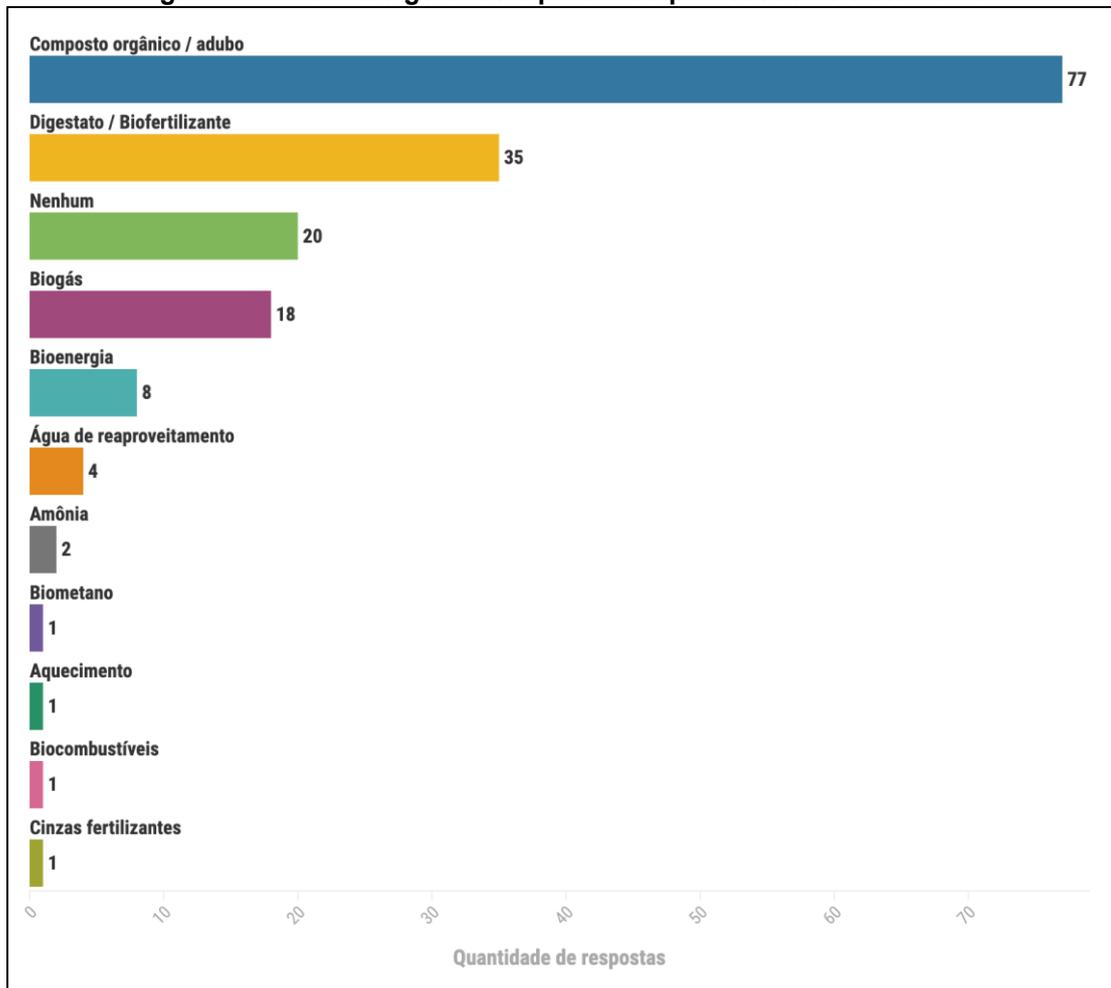
Poucas fazendas apresentaram alguma técnica de mitigação dos impactos das emissões atmosféricas, apenas 8 propriedades (6,25%) fazem a incineração dos gases. Essa técnica de tratamento de resíduos consiste na queima controlada dos gases para produzir calor e energia. Ao queimar os gases, a temperatura aumenta e o calor é capturado e utilizado para aquecer instalações ou gerar eletricidade, além disso, a incineração também ajuda a reduzir os odores desagradáveis e a evitar a liberação excessiva de gases poluentes na atmosfera (AWASTHI *et al.*, 2022).

Além disso, há 7 propriedades (5,46%) fazendo o uso de tratamento biológico. Essa técnica é eficaz para o controle da amônia no tratamento de gases e na prevenção da poluição atmosférica em instalações de suinocultura, uma vez que é utilizado microrganismos, como bactérias nitrificantes, para converterem a amônia em

nitrato, um composto menos tóxico. Este processo ocorre em condições aeróbicas, com a presença de oxigênio, e é geralmente realizado em reatores biológicos (KHOSHNEVISAN *et al.*, 2021).

A seguir, na Figura 25, estão apresentados os produtos gerados pelas fazendas suinícolas a partir das diversas tecnologias aplicadas para o tratamento e valorização dos resíduos. Esses produtos além de trazer benefícios ambientais também geram resultados financeiros positivos para as fazendas que os utilizam em seus processos.

**Figura 25 - Produtos gerados a partir dos processos de tratamento**



Fonte: Autoria Própria (2022).

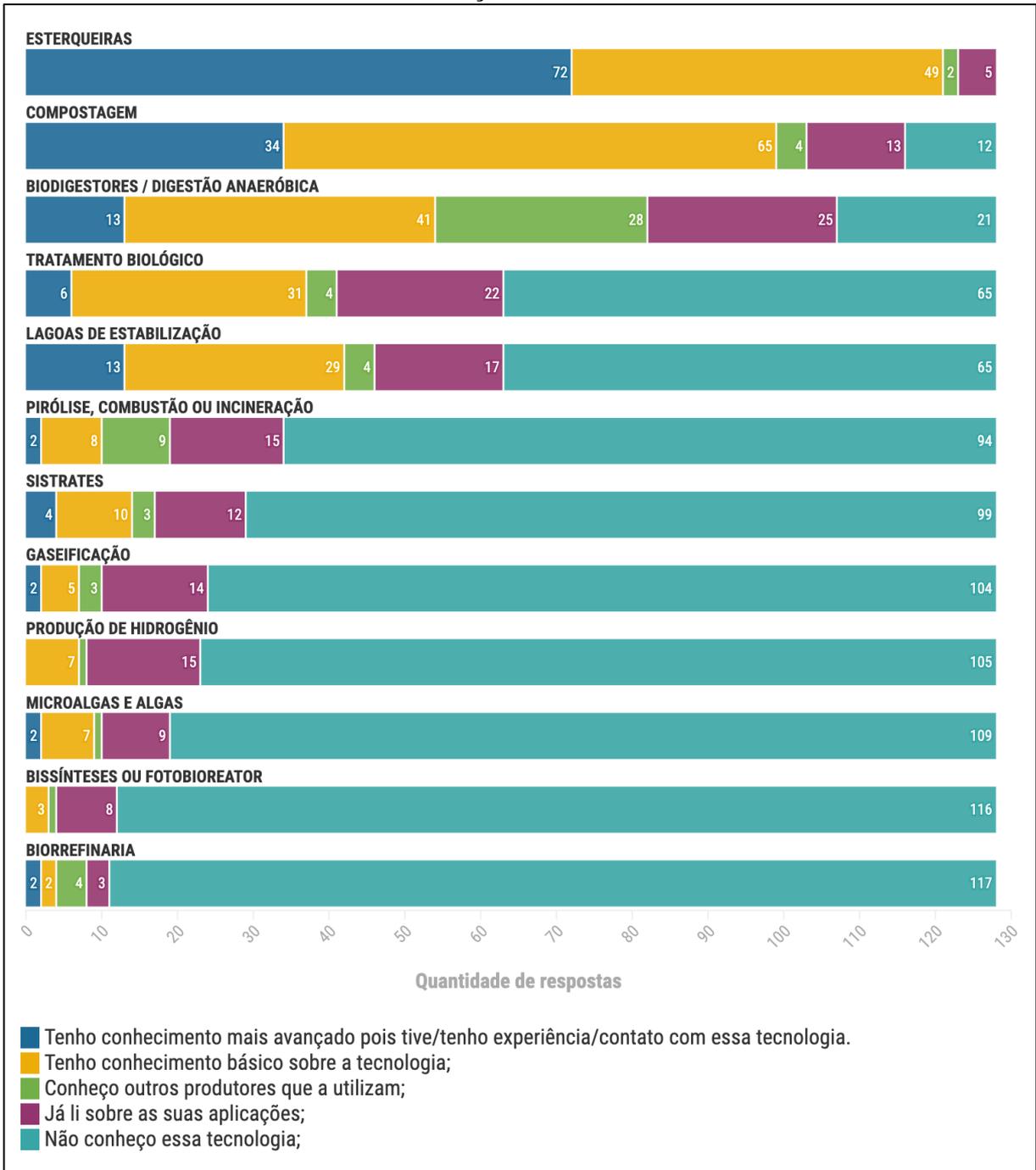
Os produtos gerados pelas fazendas são proporcionais às diferentes tecnologias aplicadas pelos suinocultores nos processos de tratamento e valorização dos resíduos. O produto mais utilizado neste caso foi o composto orgânico e adubo, provenientes dos processos de compostagem e esterqueiras, com 77 fazendas (60,15%). O digestato e biofertilizante, provenientes principalmente da digestão anaeróbica, foi o segundo produto mais gerado pelas tecnologias aplicadas, sendo

utilizado por 35 fazendas (27,34%). Outras 18 fazendas (14,06%), relataram utilizar o biogás, produto gerado a partir dos biodigestores da fazenda. Em seguida, 8 propriedades (6,25%) fazem a conversão do biogás em bioenergia para uso na fazenda.

Apenas 4 suinocultores (3,12%), utilizam as águas residuais em outros processos de reaproveitamento, 2 fazendas (1,56%) realizam a extração da amônia para a venda para outras indústrias de processamento e 1 fazenda (0,78%) apresentarem os seguintes produtos: aquecimento, biocombustíveis e fertilizantes. Já outras 20 fazendas (15,62%), alegaram não possuir nenhum tipo de produto proveniente dos processos de tratamento, ou seja, são os suinocultores que não conseguem extrair nenhum benefício dos resíduos pois não realizam nenhuma atividade de valorização ou apenas tratam os resíduos nas condições mínimas para o descarte.

Por último, na terceira parte do questionário aplicado, foi avaliado o grau de familiaridade dos suinocultores com diferentes tecnologias de tratamento e valorização de resíduos, assim, objetivou-se perceber como o mercado lida com as diferentes tecnologias disponíveis bem como o grau de proximidade e conhecimento. Em seguida, foi feita uma análise consoante a aplicação e utilização dessas tecnologias, com o objeto de mensurar as dificuldades e barreiras enfrentadas pelos suinocultores para o avanço de novas tecnologias e processos em busca da sustentabilidade. Na Figura 26, está apresentado um gráfico que demonstra o grau de conhecimento dos suinocultores de acordo com cada uma das 12 tecnologias avaliadas.

**Figura 26 - Grau de conhecimento e familiaridade com diferentes tecnologias de tratamento e valorização de resíduos**



Fonte: Autoria Própria (2022).

As técnicas de tratamento de resíduos que demonstraram um maior conhecimento por parte dos suinocultores foram: esterqueiras (72), compostagem (34), biodigestores (13), lagoas de estabilização (13) e tratamento biológico (8), por serem as principais técnicas já utilizadas pela maioria das fazendas participantes da pesquisa. Além disso, os suinocultores demonstraram possuir pelo menos um conhecimento básico em várias tecnologias como: compostagem (65), esterqueiras

(49), biodigestores (41), tratamento biológico (31), lagoas de estabilização (29), SISTRATES (10) e pirólise, combustão ou incineração (8).

Já as tecnologias que apresentaram um menor grau de conhecimento por parte dos suinocultores foram: biorrefinaria (117), biossíntese ou fotobirreator (116), microalgas (109), produção de hidrogênio (105), gaseificação (104), SISTRATES (99) e pirólise, combustão ou incineração (94). Entretanto, vale ressaltar que grande parte dessas tecnologias ainda estão em fase de desenvolvimento e aplicações em escala piloto, o que torna a sua implementação inviável consoante aos custos de investimentos.

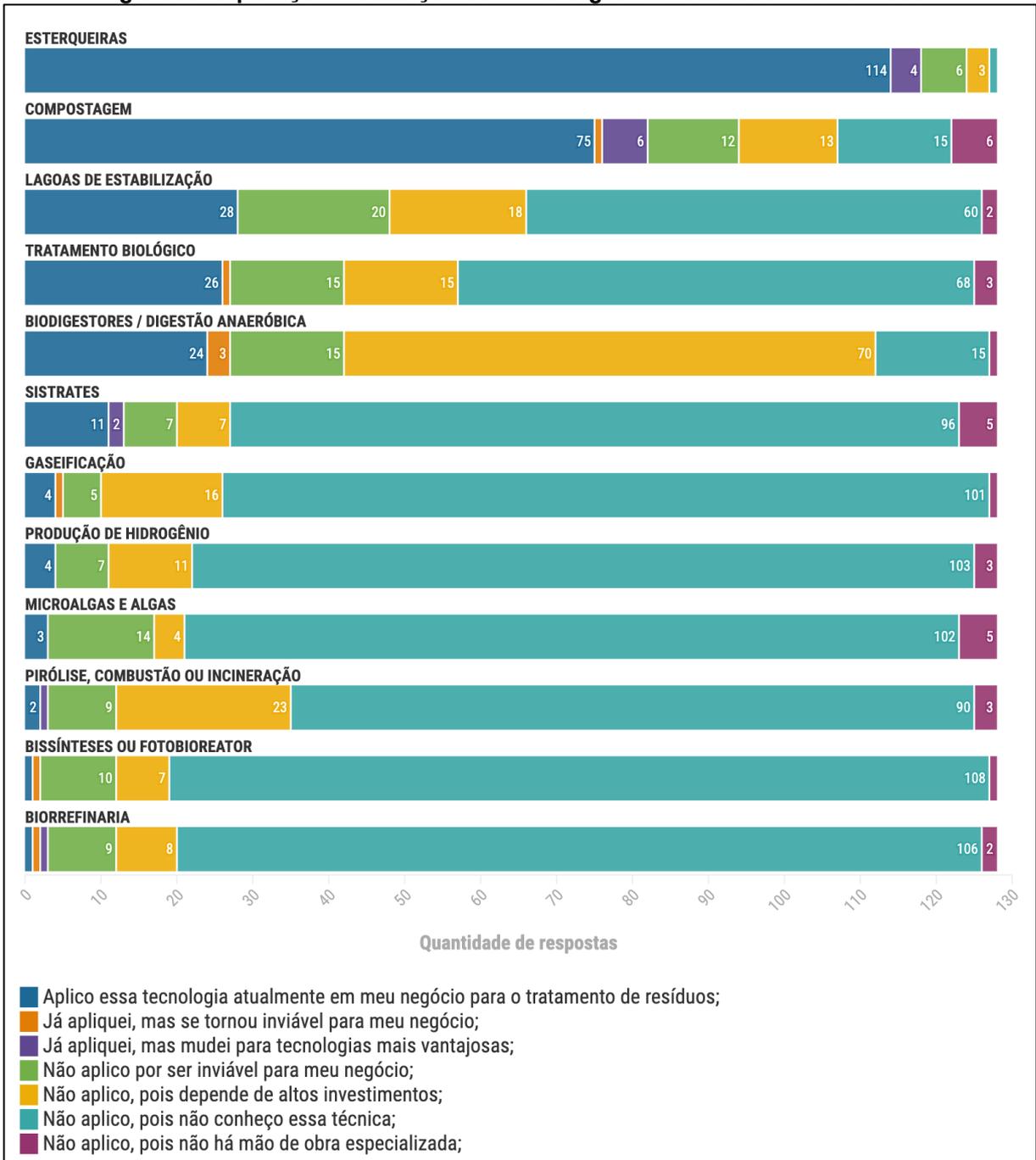
Além disso, foi possível notar que apesar de algumas tecnologias não serem muito conhecidas pelos suinocultores, uma vez que não possuem conhecimento técnico e acesso a suas aplicações, houve algumas tecnologias que foram assinaladas como novas técnicas no qual já leram algum assunto sobre elas. Como por exemplo: biodigestores (25), tratamento biológico (22), lagoas de estabilização (17), pirólise, combustão ou incineração e produção de hidrogênio (15), gaseificação (14), SISTRATES (12).

No caso da segunda pergunta de avaliação de cada tecnologia, foi mensurado se o suinocultor utiliza determinada ferramenta, ou seja, se aplica atualmente a tecnologia, se já aplicou no passado, porém por algum motivo parou de utilizá-la ou se não aplica pois há barreiras tecnológicas, financeiras e humanas para o desenvolvimento do setor. Os resultados computados estão apresentados na Figura 27 e as discussões são apresentadas a seguir.

Assim foi possível destacar que as técnicas mais utilizadas pelas fazendas são: esterqueiras, compostagem, lagoas de estabilização, tratamento biológico, biodigestores e SISTRATES. Entretanto algumas tecnologias não são aplicadas pelos suinocultores devido a limitação de altos investimentos necessários, o que tornam inviável para o seu modelo de negócios, sendo elas: biodigestores, pirólise, combustão ou incineração, lagoas de estabilização, gaseificação e tratamento biológico.

Por outro lado, algumas tecnologias não são aplicadas devido a falta de conhecimento técnico sobre suas aplicações, sendo elas: biossíntese ou fotobirreator, biorrefinaria, microalgas, produção de hidrogênio, gasificação, SISTRATES, pirólise, combustão ou incineração e tratamento biológico.

**Figura 27 - Aplicação e utilização das tecnologias nas fazendas entrevistadas**



Fonte: Autoria Própria (2022).

Apesar dos resíduos provenientes da pecuária serem um problema atualmente para o setor, existem diversas tecnologias e formas de fazer o correto gerenciamento deles. A literatura tem abordado muitas vezes o potencial dessas tecnologias em busca de ganhos ambientais e econômicos, mas ainda é necessário um maior aprofundamento e compreensão sobre o assunto, em busca de uma consolidação futura de novas formas de tratamento e minimização dos impactos (MUHL; OLIVEIRA, 2022).

É importante destacar que algumas dessas tecnologias ainda estão em desenvolvimento e precisam ser aprimoradas e disseminadas para que possam ser eficazes no gerenciamento de resíduos agrícolas. Além disso, é necessário envolver os agricultores e outros stakeholders na implementação dessas tecnologias, para garantir a sua eficácia e aceitação.

#### **4.2 Mapeamento estratégico**

O principal resultado deste trabalho foi o desenvolvimento do mapeamento estratégico de práticas circulares para a transição econômica da suinocultura, em busca de processos mais sustentáveis e a redução dos impactos causados pela produção intensiva de suínos. Dessa forma, foi levado em consideração informações da literatura e estudos pilotos sobre cada uma das tecnologias, juntamente com o confronto das informações e dados obtidos por meio da pesquisa aplicada a campo, assim, foi possível a construção de algumas recomendações e caminhos que podem ser seguidos pelas fazendas suinícolas em busca da melhoria dos fluxos de materiais, energia e água no seus processos, além do tratamento e valorização de resíduos com o foco nos benefícios ambientais e econômicos.

A escolha de uma tecnologia é influenciada por diversos fatores, como as políticas ambientais, os incentivos governamentais e as demandas e exigências do mercado de um produto final em um determinado país ou cidade. A efetividade da utilização destas tecnologias depende de uma série de considerações, incluindo suporte logístico, aspectos técnicos, condições financeiras, regulamentações ambientais e políticas, entre outros (KHOSHNEVISAN *et al.*, 2021).

Além disso, é importante levar em conta a viabilidade econômica da tecnologia, bem como sua eficiência e capacidade de atender às necessidades e requisitos específicos de cada fazenda. É crucial considerar a sustentabilidade ambiental e a proteção do meio ambiente ao selecionar uma tecnologia para o gerenciamento de resíduos. O objetivo final deve ser encontrar uma solução que seja econômica, ambientalmente viável e capaz de atender às necessidades da fazenda. Portanto, é importante avaliar todas as opções disponíveis e escolher a tecnologia mais adequada para cada caso.

Dessa forma, o conjunto de ferramentas para o tratamento de resíduos inclui dados sobre as instalações pecuárias como número de animais e tipo de instalação, módulos tecno-econômicos que levam em conta a seleção de equipamentos e

processos de desvalorização de biogás, e parâmetros econômicos, como taxas de desconto e incentivos ao custo de capital. A viabilidade de uma tecnologia depende de seus custos de capital, operação e manutenção, bem como dos custos de transporte de substratos e produtos (AWASTHI *et al.*, 2022).

A escolha de uma estratégia tecnológica para o tratamento de resíduos depende de vários fatores, incluindo o tamanho do sistema, às necessidades de recuperação de nutrientes e geração de energia, e os custos envolvidos na instalação e operação do sistema. É importante destacar que a seleção da melhor estratégia é altamente dependente das condições locais e deve ser ajustada para atender às necessidades específicas de cada situação (AWASTHI *et al.*, 2022).

Além disso, é importante considerar as políticas ambientais e regulatórias em vigor, bem como a disponibilidade de incentivos e apoios financeiros, para garantir que a escolha da estratégia tecnológica seja eficiente e sustentável a longo prazo. Ao avaliar todas essas variáveis e fazer uma escolha informada, os produtores de suínos podem maximizar os benefícios econômicos e ambientais de seu sistema de tratamento de resíduos. Desse modo, implementação de soluções inovadoras e eficientes de tratamento de resíduos é uma questão crítica para garantir a sustentabilidade da indústria suinícola e proteger o meio ambiente para as gerações futuras.

#### 4.2.1 Estratégias a nível governamental e setorial

Apesar das estratégias ao nível governamental e setorial não estar ao alcance direto do poder de decisão dos suinocultores, as preocupações com o desenvolvimento da suinocultura e os impactos causados pela produção intensiva e baixos incentivos ambientais tem sido muito discutida na academia, eventos da agropecuária e outros meios de comunicação. Assim, o governo e reguladores de políticas estão diretamente relacionados com as estratégias de aplicação da economia circular nesse setor, sendo dever dos suinocultores reivindicar melhores condições para seu trabalho e reconhecimento das práticas sustentáveis.

O governo pode fomentar a eficiência energética através de incentivos financeiros para a instalação de tecnologias mais eficientes em termos energéticos, como sistemas de iluminação de baixo consumo, sistemas de aquecimento e resfriamento mais eficientes, entre outros. Além disso, o governo também pode investir em programas de educação e capacitação para ajudar os produtores a

compreender as vantagens da eficiência energética e a implementar práticas mais eficientes em suas instalações. Ao incentivar a eficiência energética na suinocultura, o governo pode ajudar a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, aumentar a eficiência econômica e garantir um futuro sustentável para o setor.

O governo pode oferecer incentivos fiscais para financiamento de projetos de produção de energia renovável, como fontes de energia fotovoltaica e biodigestores, para estimular a utilização de fontes de energia mais limpas e sustentáveis na suinocultura. Esses incentivos podem incluir isenções fiscais, créditos de impostos e subvenções para projetos de energia renovável. Além disso, o governo pode fornecer financiamento direto para projetos de energia renovável, como empréstimos a juros baixos para agricultores que desejam instalar sistemas de energia renovável em suas fazendas. Assim, a combinação de incentivos fiscais e financiamento direto pode ajudar a tornar a produção de energia renovável mais acessível e viável para os produtores (DUAN *et al.*, 2020).

Além disso, o governo deve promover a iniciativa privada na reciclagem ocupacional do estrume animal. A tecnologia deve ser avançada para além da reciclagem de estrume, incluindo a produção de biogás e recuperação de nutrientes, com enfoque em criar uma ampla gama de produtos com valor agregado. Considerando os aspectos ambientais e as oportunidades econômicas ligadas à reciclagem de estrume, este setor deve ser destacado no futuro (AWASTHI *et al.*, 2022).

Outra estratégia a ser desenvolvida por parte dos governos é o incentivo a produção de energia renovável distribuída (microgeração), essa é uma estratégia importante para a suinocultura, pois permite aos pequenos produtores de suínos acesso a fontes de energia limpa e renovável, além de aumentar a resiliência energética do setor. O governo pode oferecer incentivos financeiros para a produção de energia renovável distribuída, a fim de estimular a adoção de fontes de energia limpa e renovável entre os pequenos produtores (PEREIRA *et al.*, 2022), como por exemplo o desenvolvimento de políticas públicas sobre sustentabilidade, eletrificação rural, aproveitamento de biomassa, pagamentos por serviços ambientais e outros.

A regulamentação de créditos de carbono é uma mais uma estratégia governamental importante para a suinocultura, pois permite que o setor participe do mercado de carbono e seja compensado por suas ações de mitigação de emissões de gases de efeito estufa. Através da regulamentação de créditos de carbono, o

governo estabelece critérios e regras claras para a emissão e negociação de créditos de carbono, permitindo que as empresas e produtores de suínos possam vender seus créditos para outras empresas que precisam compensar suas emissões.

Além disso, o governo e formuladores de políticas podem ter um papel fundamental na garantia da qualidade da água utilizada na suinocultura, no seu uso eficiente e descarte correto. A regulamentação de leis que garantem a qualidade da água, traz a garantia de que a água utilizada na suinocultura seja segura para o consumo animal e humano, bem como para o meio ambiente. Além disso, o governo pode investir em tecnologias de tratamento de água para melhorar a eficiência do uso de água na suinocultura e reduzir o impacto ambiental. Dessa forma, a aplicação de tecnologias pode incluir tratamento de água por osmose reversa, tratamento de esgotos e reutilização de água tratada, tornando o ciclo da água mais circular nesse setor (KHOSHNEVISAN *et al.*, 2021).

#### 4.2.2 Estratégias a nível regional e cooperativas

A circularidade pode ser expandida além da fazenda individual, permitindo que produtos de baixo valor ou resíduos de um sistema substituam insumos lineares em outro. Isso oferece maiores possibilidades de circularidade e melhor ciclo de nutrientes. Sistemas integrados podem reduzir custos, mão-de-obra e uso de agrotóxicos e aumentar o carbono do solo, mas esses resultados são altamente variáveis e nem sempre são rentáveis. (BURGGRAAF *et al.*, 2020).

Dessa forma, explorar essa variedade de materiais e novas possibilidades de compartilhamento de recursos entre empresas da mesma região pode compensar as emissões de carbono relacionadas a transportes mais longos. Entretanto, a implementação e a vantagem econômica de projetos de valorização ambiental também dependem dos custos de transporte, sendo muitas vezes o principal limitador do desenvolvimento de produtos inovadores.

Além disso, a teoria da rede, do cluster e do desenvolvimento local pode ser útil para aprofundar ainda mais esses insights sobre modelos de negócios circulares no setor agrícola sobre os tipos e uso de recursos locais, tipo de colaboração e parcerias, investimentos conjuntos e sinergias, sua inclusão em contextos socioeconômicos e ambientais específicos e o impacto no desenvolvimento territorial sustentável (DONNER *et al.*, 2021)

Seguindo os princípios da economia circular, a gestão de propriedades que levam à simbiose industrial, podem aproveitar integralmente os subprodutos e aumentar a eficiência de processamento através de redes de empresas independentes que trocam subprodutos e compartilham recursos comuns, gerando assim benefícios econômicos e ambientais para todos (KOWALSKI; MAKARA, 2021)

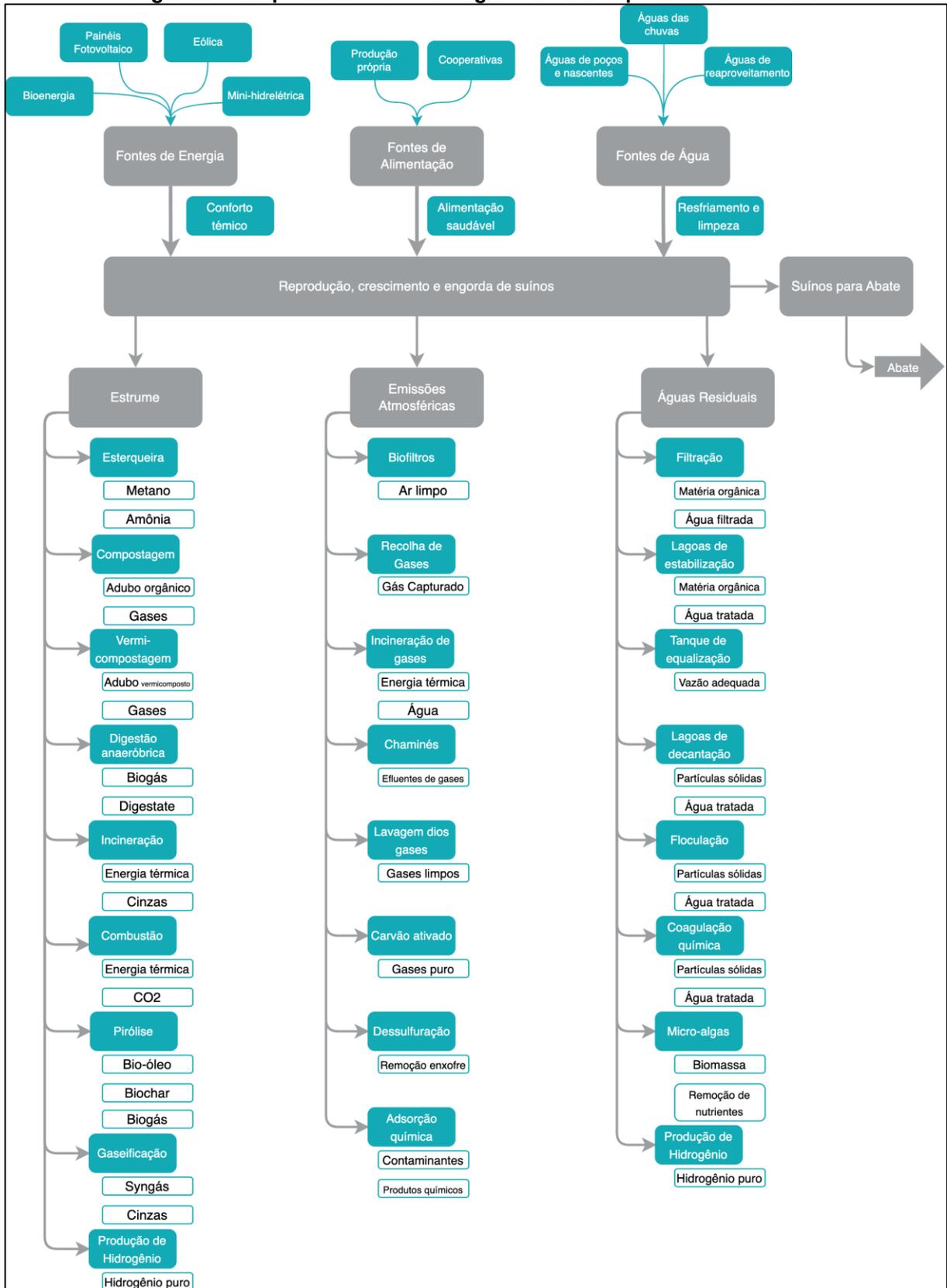
Ao estabelecer cooperativas locais, é possível que uma propriedade individual possa participar de vários projetos e ter várias oportunidades de negócios. Criando uma cooperativa local que ajude pequenas propriedades rurais a trabalharem juntas, em grupos ou em um consórcio, é possível fortalecer e impulsionar o desenvolvimento local, ajudando a reduzir impactos ambientais (PEREIRA *et al.*, 2022).

A criação de "hubs empresariais" nas regiões rurais é sugerida como uma estratégia para fomentar a adoção de inovações e novos modelos de negócios circulares nas empresas e organizações rurais. Esses "hubs empresariais" podem fornecer expertise e apoio nas áreas de princípios de economia circular, negócios ecológicos, responsabilidade social corporativa, quadro legal, promoção de soluções inovadoras, assistência na aplicação de bolsas, elaboração de planos de negócios e pesquisas de mercado, entre outros (UVAROVA; ATSTAJA; KORPA, 2020).

#### 4.2.3 Estratégias a nível empresarial e processos

As estratégias classificadas como nível empresarial ou de processos estão mais diretamente relacionadas às modificações internas das fazendas e demais investimentos aplicados em busca de melhorias no processo de criação de suínos, e, conseqüentemente, nos impactos e benefícios gerados. Assim, algumas dessas estratégias identificadas no decorrer da revisão da literatura e da pesquisa de mercado estão presentes no fluxograma apresentado na Figura 28.

**Figura 28 - Mapeamento de estratégias circulares para a suinocultura**



Fonte: Autoria Própria (2023).

A utilização de fontes de energia renovável é fundamental para o setor de suinocultura, pois permite uma redução no consumo de combustíveis fósseis, e, conseqüentemente, a diminuição das emissões de gases de efeito estufa. Assim, a propriedade de suinocultura pode optar por fontes de energia renovável, como a energia solar, eólica, mini-hidrelétrica e bioenergia, para alimentar suas instalações e processos. Além disso, essas fontes de energia além de contribuir para a preservação do meio ambiente, também podem representar uma economia financeira a longo prazo, uma vez que as fontes de energia renováveis são mais baratas e sustentáveis do que os combustíveis fósseis e a rede elétrica.

A estratégia de reciclar água é uma importante ferramenta para as propriedades, visando a redução do consumo de água pura e maximizando a sua reutilização. Implementar sistemas de tratamento de água permite que a água utilizada no processo de criação de suínos seja tratada e reutilizada em outras atividades da propriedade, como irrigação ou limpeza. Além de ser uma medida eficiente para a preservação dos recursos hídricos, a reciclagem de água também é uma forma de garantir a qualidade da água utilizada no processo de criação de suínos, melhorando a saúde dos animais, e, conseqüentemente, a qualidade dos produtos finais.

Além disso, a utilização de alimentos orgânicos produzidos localmente é uma importante estratégia para a propriedade de suinocultura, visando a diminuição do impacto ambiental e a promoção da sustentabilidade local. Alimentos orgânicos são cultivados sem o uso de pesticidas ou outros químicos nocivos para o meio ambiente, podendo ser beneficiado a partir dos biofertilizantes produzidos na suinocultura. Além disso, a utilização de alimentos produzidos localmente também pode impulsionar a economia local e promover o desenvolvimento sustentável da região.

Levando em consideração os processos internos de produção e crescimento dos suínos, outra importante estratégia que deve ser utilizada pelas propriedades é o uso de equipamentos mais eficientes, principalmente no caso de ventiladores, nos processos de resfriamento com água e no aquecimento do ambiente nos meses mais frios. Assim, o uso desses equipamentos pode proporcionar melhor eficiência para a fazenda, visando a diminuição do consumo de energia e água, além de reduzir os custos operacionais.

A utilização de práticas de manejo de resíduos sustentáveis, bem como o correto armazenamento e tratamento dos resíduos visa a diminuição do lixo gerado e

a promoção da conservação dos recursos naturais. A reciclagem e a compostagem são exemplos de práticas de manejo de resíduos sustentáveis que podem ser implementadas na propriedade, permitindo a transformação de resíduos em materiais úteis e a preservação dos recursos naturais. Além disso, a implementação de práticas de manejo de resíduos sustentáveis também contribui para a preservação do meio ambiente, já que a redução dos resíduos gera resultados nas emissões de gases de efeito estufa e menos pressão sobre os aterros sanitários.

Por outro lado, investir em tecnologias limpas é uma estratégia importante para a propriedade de suinocultura, visando a diminuição do impacto ambiental e a promoção da sustentabilidade. Sistemas de produção de biogás ou de reciclagem de resíduos são exemplos de tecnologias limpas que podem ser implementadas na propriedade, permitindo a transformação de resíduos em fontes de energia limpa e a preservação dos recursos naturais. Entretanto, outras tecnologias mais avançadas vêm sendo desenvolvidas na busca de melhores resultados e eficiência no tratamento dos resíduos, no qual também devem ser levadas em consideração pelos suinocultores para futuras instalações.

A escolha de tecnologias para serem utilizadas nas fazendas é uma decisão importante que deve ser cuidadosamente considerada, uma vez que vários fatores precisam ser levados em consideração, como: o tamanho da fazenda, as características de produção, o nível de investimento necessário, os benefícios gerados, o grau de maturidade da tecnologia, o impacto ambiental e outros.

O tamanho da fazenda, por exemplo, pode determinar o tipo e a escala de tecnologias que podem ser utilizadas, as características de produção também são importantes, pois podem afetar a forma como a tecnologia é utilizada. Além disso, o nível de investimento necessário é fundamental, pois deve ser considerado a capacidade financeira da fazenda e os incentivos de investimentos fornecidos pelo governo. Por último, o grau de maturidade da tecnologia e o impacto ambiental também precisam ser considerados para garantir que a tecnologia escolhida seja segura e sustentável para todos.

Um exemplo de circularidade em uma fazenda de suinocultura pode ser analisado no estudo realizado por Oliveira *et al.*, (2011), onde os produtos gerados no biodigestor são usados nas culturas de café e milho, e embora contribua apenas com 40% dos fertilizantes necessários, gera 50% da energia elétrica da fazenda, incluindo as casas dos funcionários e parte do armazém de armazenamento a frio. Além disso,

essa propriedade não polui as águas locais, indicando um compromisso com a responsabilidade social do empreendimento. Outro produto gerado a partir dos resíduos é o biodiesel, onde é consumido pelos veículos da fazenda com base em análises realizadas em laboratório certificado. Já a glicerina é um dos subprodutos do biodiesel e é usada na produção de sabão e detergente, amplamente utilizados na limpeza da própria fazenda. Os funcionários vivem na propriedade, nas casas que são alimentadas com energia elétrica do gerador e da rede externa, água de nascente e um sistema de fossa para o tratamento de esgoto. Assim, essas soluções sustentáveis para o gerenciamento de seus resíduos, reduz custos e evita problemas ambientais, além de aproveitar os diferentes tipos de resíduos gerados na propriedade (OLIVEIRA *et al.*, 2011).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A economia circular tem sido amplamente discutida em muitos setores da indústria, e a produção de suínos não é exceção, uma vez que é uma atividade econômica bastante poluente. O objetivo da aplicação de estratégias circulares na suinocultura é criar um sistema eficiente de recursos, em que os insumos e resíduos possam trabalhar em harmonia dentro de um sistema fechado, além disso, essas estratégias visam a aplicação de tecnologias para o tratamento de resíduos e valorização ambiental em busca da minimização dos impactos causados.

No caso da suinocultura, há muitas oportunidades para a transição para uma economia circular, a fim de melhorar a sustentabilidade do setor. O fechamento do ciclo de uma fazenda é possível a partir da aplicação de práticas de gerenciamento de insumos/resíduos e o desenvolvimento de tecnologias que permitam a reutilização e recuperação de recursos. Adotar essas práticas pode trazer benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia, permitindo a redução dos custos com insumos, além de aumentar a eficiência na produção e gerar novos fluxos de renda para as propriedades.

Deste modo, o desenvolvimento deste trabalho permitiu o alcance do objetivo geral deste estudo, no qual foi proposto o mapeamento de estratégias da economia circular aplicadas à suinocultura, a fim de identificar as práticas sustentáveis utilizadas por propriedades suínícolas para recuperação, valorização e tratamento de resíduos.

O primeiro objetivo específico foi a caracterização dos processos da suinocultura, os resíduos gerados e os impactos ambientais do setor, apresentados nas seções 3.2, 3.2.1 e 3.3.1, respectivamente. Com esse objetivo foi possível entender as especificidades de cada etapa dos processos de criação de suínos, bem como os resíduos gerados e os impactos ambientais causados, tais como a poluição do solo e da água, a emissão de gases de efeito estufa, a destruição de habitats naturais e a alteração da biodiversidade. Esse objetivo foi fundamental para o embasamento teórico das demais etapas desta pesquisa e a construção das estratégias mais assertivas.

O segundo objetivo específico visou apontar as práticas da economia circular aplicáveis à suinocultura, ou seja, foi apresentado com base nos artigos do portfólio bibliográfico as técnicas utilizadas para a transformação o atual modelo linear de produção e consumo em um modelo circular, no qual os resíduos são transformados

em novos insumos e os recursos naturais são preservados. Assim, as estratégias e técnicas da economia circular na suinocultura foram apresentadas na seção 3.3, incluindo uma discussão sobre o gerenciamento de insumos, energia e água, além da possibilidade de tratamento de resíduos e minimização dos impactos ambientais.

O terceiro objetivo específico foi identificar os processos de valorização ambiental e redução dos impactos causados pela suinocultura, dessa forma, foram identificadas algumas das mais variadas tecnologias para o tratamento e valorização ambiental dos resíduos gerados nos processos de criação de suínos. Além disso, na seção 3.3.2, foi definido algumas tecnologias mais influentes para aplicações na suinocultura, bem como seus processos, resíduos utilizados e produtos gerados após a sua aplicação, enfatizando os benefícios ambientais e econômicos para as fazendas. Tais tecnologias serviram como base para construção do questionário utilizado para atingir o objetivo específico seguinte.

No quarto objetivo específico, mensurou-se o desenvolvimento do setor por meio de uma pesquisa aplicada diretamente com os suinocultores, assim, foi aplicado uma pesquisa de mercado com 128 fazendas para entender a realidade atual do setor perante o desenvolvimento e conhecimento das tecnologias atuais, que posteriormente foram recomendadas no *roadmap* dos resultados. As análises realizadas sobre os resultados encontrados a partir da pesquisa estão apresentados na seção 4.1 e serviram como base para a elaboração de estratégias mais adequadas à realidade do mercado.

Por último, o objetivo específico cinco apresentado na seção 4.2, visou a construção do mapa estratégico baseado nas possibilidade de aplicação da economia circular na suinocultura, onde foi possível apresentar as análises realizadas em conjunto com a literatura e a realidade do mercado atual. Além disso, a seção de mapeamento estratégico permitiu a identificação de oportunidades e ameaças para o setor, bem como a definição de estratégias para o seu crescimento e fortalecimento, trazendo novos conhecimentos em prol do desenvolvimento sustentável da suinocultura.

Outra forma de contribuição desta pesquisa está no desenvolvimento de ações que viabilizem o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), presentes nos planos da Agenda 2030 (ONU, 2015). Entre os 17 ODS, é notável a cooperação em: ODS 2 – Fome zero e agricultura sustentável – melhoria nos processos da agricultura visando a segurança

alimentar e sustentabilidade do campo; ODS 3 – Saúde e bem-estar – maior qualidade de vida para as pessoas envolvidas direta e indiretamente na cadeia produtiva dos suínos; ODS 4 – Educação de qualidade – por meio do acesso a informação de novos recursos e tecnologias para o setor; ODS 6 – Água potável e saneamento – diminuição da contaminação das águas e preservação de nascentes para o uso mais consciente; ODS 7 – Energia limpa e acessível – desenvolvimento de novas fontes de energia a partir de recursos renováveis como biomassa, bioenergia, biogás e biocombustíveis; ODS 8 – Trabalho decente e crescimento econômico – melhorias nos processos de produção e condições de trabalho na suinocultura, promovendo o bem estar social dos colaboradores; ODS 9 – Indústria, inovação e infraestrutura – por meio da colaboração de desenvolvimento de tecnologias e processos mais eficientes para a minimização dos impactos dessa indústria; ODS 11 – Cidades e comunidades sustentáveis – viabilização de cadeias produtivas mais sustentáveis visando uma melhor comunicação entre o campo e as cidades; ODS 12 – Consumo e produção responsáveis – implementação de processos produtivos e consumo mais circulares a partir do reaproveitamento de resíduos e melhorias na eficiência; ODS 13 – Ação contra a mudança global do clima – combate aos impactos ambientais que promovem as mudanças climáticas como emissões do GEE e outros poluentes; ODS 15 – Ecossistemas terrestres e biodiversidade – aplicação de melhorias no bem-estar animal, incentivo do uso sustentável de recursos biológicos e redução dos impactos causados por resíduos descartados incorretamente; ODS 17 – Parcerias para o desenvolvimento – criação de parcerias, cooperativas e associações que viabilizem práticas circulares economicamente viáveis (ORNER *et al.*, 2021; CALICIOGLU; BOGDANSKI, 2021; UVAROVA; ATSTAJA; KORPA, 2020; KAYIKCI *et al.*, 2021).

Deste modo, conclui-se que o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de resíduos na suinocultura vem avançando rapidamente nos últimos anos, sendo uma estratégia crucial para garantir a saúde e bem-estar dos animais, preservar o meio ambiente e atender às regulamentações ambientais cada vez mais rigorosas. Essas tecnologias são extremamente importantes para a saúde pública, pois evitam a contaminação do solo e da água, prevenindo doenças e melhorando a qualidade de vida das comunidades locais. No entanto, ainda existem algumas limitações a serem superadas como falta de infraestrutura adequada, altos custos de implantação e manutenção, especificidades de cada modelo de negócio e a falta de conscientização e de regulamentações claras.

## **5.1 Limitações da pesquisa**

A pesquisa sobre a economia circular na suinocultura é um assunto importante, mas que enfrenta algumas limitações. Uma dessas limitações foi a dificuldade de acesso aos suinocultores, que muitas vezes estão localizados em áreas remotas e não são fáceis de serem alcançados. Isso dificultou a coleta de dados e a realização de entrevistas com os produtores, o que pode afetar a qualidade e a precisão dos resultados.

Outra limitação é a falta de conhecimento técnico por parte dos suinocultores, onde muitos deles não conheciam a economia circular, apesar de já aplicarem algumas técnicas de valorização ambiental. Entretanto, as tecnologias mais avançadas ainda não são dominadas pelas fazendas e a falta de conhecimento técnico pode dificultar a adoção de práticas mais sustentáveis, sendo necessário a transferência de novos conhecimentos de forma prática para o futuro.

A pandemia da COVID-19 também foi uma limitação significativa para a pesquisa. As restrições de viagem e as medidas de distanciamento social tornaram difícil realizar entrevistas e visitas a fazendas, o que pode ter afetado a coleta de dados. Além disso, muitos suinocultores enfrentaram desafios financeiros e logísticos devido à pandemia, o que pode ter influenciado no nível de circularidade dos processos das fazendas.

Por fim, o excesso de informação desconhecida também pode ser uma limitação para essa pesquisa. Com tantos recursos e informações disponíveis cientificamente, pode ser difícil de se verificar com precisão as informações, bem como a viabilidade e benefícios de algumas técnicas que ainda estão em fase de desenvolvimento e aprimoramento. Além disso, a falta de padronização em termos de metodologia e dados pode tornar difícil comparar resultados de diferentes fontes e avaliar a eficácia das tecnologias de economia circular.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Um campo promissor para futuros estudos é a avaliação da viabilidade econômica para aplicação das tecnologias em diferentes fazendas de suinocultura, levando em consideração o seu tamanho e características de produção. É importante avaliar o custo-benefício antes de investir em tecnologias de tratamento de resíduos e avaliar como elas podem ser escaladas para atender às necessidades de fazendas

de diferentes portes. Além disso, é fundamental avaliar o impacto ambiental dessas tecnologias, garantindo que elas sejam eficazes, sustentáveis e circulares.

Outro aspecto importante a ser investigado é o grau de desenvolvimento tecnológico das tecnologias de tratamento de resíduos na suinocultura. É fundamental avaliar a eficiência e eficácia dessas tecnologias, para garantir que elas sejam aplicadas da maneira mais efetiva possível. Além disso, ainda há muitos gargalos nos processos no qual podem vir a ser oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias, a fim de melhorar ainda mais a sustentabilidade do setor.

Por fim, a construção de uma ferramenta para tomada de decisão pode ser um importante resultado para ajudar as fazendas de suinocultura a escolherem a tecnologia certa a ser aplicada, em busca do desenvolvimento sustentável, podendo ainda ser escalado para outros setores, principalmente da pecuária e da agricultura.

## REFERÊNCIAS

- ABCS (Associação Brasileira dos criadores de Suínos). **Mapeamento da suinocultura brasileira**. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Mapeamento+da+Suinocultura+Brasil+eira.pdf>. Acesso em: 15 set. 2021.
- ABEPRO (Associação Brasileira de Engenharia de Produção). **Áreas e sub-áreas de engenharia de produção: áreas da engenharia de produção**. Rio de Janeiro. 2008. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/interna.asp?p=399&m=424&s=1&c=362>. Acesso em: 01 out. 2022.
- ÅKERMAN, M. *et al.* Material politics in the circular economy: The complicated journey from manure surplus to resource. **Geoforum**, [s. l.], v. 116, p. 73–80, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2020.07.013>.
- ARAÚJO, M. B. *et al.* Financial aspects of pig production in Brazil: Case study in a farm using sustainable management. *In:* , 2016. **ILS 2016 - 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain**. [S. l.]: International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain, 2016. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84985906569&partnerID=40&md5=637e3c0a414bfd5d52db2598959812db>.
- AWASTHI, M. K. *et al.* A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: Technological challenges, advancements, innovations, and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 111, p. 115–131, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.017>.
- AWASTHI, S. K. *et al.* Multi-criteria research lines on livestock manure biorefinery development towards a circular economy: From the perspective of a life cycle assessment and business models strategies. **Journal of Cleaner Production**, The Boulevard, Langford lane, Kidlington, Oxford ox5 1gb, Oxon, England, v. 341, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130862>
- BANDEKAR, P. A. *et al.* Life cycle assessment of alternative swine management practices. **Journal of Animal Science**, [s. l.], v. 97, n. 1, p. 472–484, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jas/sky425>.
- BARROS, M. V. Ferramenta para promover a economia circular em propriedades rurais. 2019. 107 f. **Dissertação (Mestrado)** - Curso de Mestrado em Engenharia de Produção, PPGE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4283>. Acesso em: 15 set. 2021.
- BAUTISTA, F.; AGUILAR, Y.; GIJÓN-YESCAS, N. Pig farms in karst areas: how do we go from pollution to sustainability? [Las granjas porcinas en zonas de karst: ¿cómo pasamos de la contaminación a la sustentabilidad?]. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, [s. l.], v. 25, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.56369/TSAES.4154>.

BERNET, N.; BÉLINE, F. Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 100, n. 22, p. 5431–5436, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.003>.

BEYERS, M. *et al.* Effect of natural and regulatory conditions on the environmental impacts of pig slurry acidification across different regions in Europe: A life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 368, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133072>.

BONNEAU, M. *et al.* Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: Integrated evaluation. **Animal**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. 2058–2068, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731114002110>.

BONNEAU, M. *et al.* Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: The procedure, the evaluated systems and the evaluation tools. **Animal**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. 2011–2015, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S1751731114002122>.

BORGES, Y. V. *et al.* Optimization of animal manure vermicomposting based on biomass production of earthworms and higher plants. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, [s. l.], v. 52, n. 11, p. 791–795, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03601234.2017.1356162>.

BORTOLI, M. *et al.* Water reuse as a strategy for mitigating atmospheric emissions and protecting water resources for the circularity of the swine production chain. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 345, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131127>.

BURGGRAAF, V. T. *et al.* Application of circular economy principles to New Zealand pastoral farming systems. **Journal of New Zealand Grasslands**, [s. l.], v. 82, p. 53–59, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33584/jnzg.2020.82.426>.

BUX, C.; AMICARELLI, V. Material flow cost accounting (MFCA) to enhance environmental entrepreneurship in the meat sector: Challenges and opportunities. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 313, p. 115001, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115001>.

CAMARGO, T. F. *et al.* Sustainability indicators in the swine industry of the Brazilian State of Santa Catarina. **Environment Development and Sustainability**, van godewijkstraat 30, 3311 Gz Dordrecht, Netherlands, v. 20, n. 1, SI, p. 65–81, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0147-6>.

CANU, M. E. **Economía circular y sostenibilidad: nuevos enfoques para la creación de valor**. Santiago de Chile: Createspace, 2017.

CALICIOGLU, O.; BOGDANSKI, A. Linking the bioeconomy to the 2030 sustainable development agenda: Can SDG indicators be used to monitor progress towards a sustainable bioeconomy?. **New Biotechnology**, Radarweg 29, 1043 Nx Amsterdam, Netherlands, v. 61, p. 40–49, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2020.10.010>.

CANDIDO, D. *et al.* Integration of swine manure anaerobic digestion and digestate

nutrients removal/recovery under a circular economy concept. **Journal of Environmental Management**, 24-28 Oval Rd, London Nw1 7dx, England, v. 301, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113825>.

CHENG, H. H. *et al.* Recent advancement on biological technologies and strategies for resource recovery from swine wastewater. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 303, p. 122861, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122861>.

COLELLA, M. *et al.* Challenges and opportunities for more efficient water use and circular wastewater management. The case of Campania Region, Italy. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 297, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113171>

DADRASNIA, A. *et al.* Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 315, p. 128106, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128106>.

DIEL, P. B. *et al.* Economic management model of electricity generated from biomass in a pig farm. **Engenharia Agrícola**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 132–138, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-ENG.AGRIC.V40N2P132-138/2020>.

DO, T. T. *et al.* Metagenomic and HT-qPCR analysis reveal the microbiome and resistome in pig slurry under storage, composting, and anaerobic digestion. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 305, p. 119271, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119271>.

DONNER, M. *et al.* Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 165, p. 105236, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105236>.

DUAN, N. *et al.* Life cycle assessment of anaerobic digestion of pig manure coupled with different digestate treatment technologies. **Environment International**, [s. l.], v. 137, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105522>.

EMBRAPA (Brasil). **Embrapa suínos e aves**: central de inteligência de aves e suínos. Central de Inteligência de Aves e Suínos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>. Acesso em: 05 fev. 2023.

EMBRAPA (Brasil). **Embrapa suínos e aves**: central de inteligência de aves e suínos. Central de Inteligência de Aves e Suínos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/mundo>. Acesso em: 05 fev. 2023.

EMF (Ellen Macarthur Foundation). **Agricultura regenerativa em São Paulo**: ligue os pontos. Ligue os Pontos. 2016. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/exemplos-circulares/ligue-os-pontos>. Acesso em: 10 jan. 2023.

EMF (Ellen Macarthur Foundation). **Cities and circular economy for food**. 2019. Página 39. <https://pacecircular.org/sites/default/files/2019-03/Cities-and-Circular->

Economy-for-Food.pdf Acesso em 11 nov. 2022.

EMF (Ellen Macarthur Foundation). **Delivering the circular economy, a toolkit for policymakers**. 2015. Disponível em: <https://eco.nomia.pt/contents/documentacao/ellenmacarthurfoundation-policymakertoolkit.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

EMF (Ellen Macarthur Foundation). **Economia circular: elementos básicos**. 2017. Ellen Macarthur Foundation. Disponível em: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/elementos-basicos>. Acesso em: 16 set. 2022.

EMF (Ellen Macarthur Foundation). **Eliminating food waste**. 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/eliminating-food-waste>. Acesso em: 15 set. 2022.

EMF (Ellen Macarthur Foundation). **Towards the circular economy - Vol.2: Opportunities for the consumer goods sector**. Isle of Wight: EMF, 2013. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-2-opportunities-for-the-consumer-goods>. Acesso em: 03 jun. 2022.

EMF; GRANTA; LIFE. **Circularity Indicators: an approach to measuring circularity. An Approach to Measuring Circularity**. 2015. Disponível em: <https://emf.thirdlight.com/link/3jtevhkbukz-9of4s4/@/preview/1?o>. Acesso em: 05 fev. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Matriz Energética e Elétrica**. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 05 fev. 2023.

EUROPEAN COMMISSION. **Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe**. Brussels: European Commission, 2014. Disponível em: <https://www.oecd.org/env/outreach/EC-Circular-economy.pdf>. Acesso: 01 set. 2022.

FAOStats. **Statistical Database**. Livestock Primary (Meat Total List). 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>. Acesso em: 15 set. 2022.

FERRER, P. *et al.* Effects of orange pulp conservation methods (Dehydrated or Ensiled Sun-Dried) on the nutritional value for finishing pigs and implications on potential gaseous emissions from slurry. **Animals**, ST Alban-Anlage 66, CH-4052 Basel, Switzerland, v. 11, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani11020387>.

FU, G.; LIU, S. Value flow calculation and evaluation of pig- biogas project -fruit circular economy development model. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, [s. l.], v. 35, n. 15, p. 225–233, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2019.15.028>.

GABRIELA, P. S. *et al.* Participatory evaluation of the sustainability of pig production systems in deep bed in the community of pena larga, barinas state - Venezuela. **Agroindustria Sociedad y Ambiente ASA**, Univ Centrooccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, 00000, Venezuela, v. 2, n. 11, p. 19–42, 2018. Disponível

em: <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/1794>.

GIANG, N. T. H. *et al.* Recycling wastewater in intensive swine farms: Selected case studies in Vietnam. **Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University**, [s. l.], v. 66, n. 1, p. 115–121, 2021.

GIL, A. C. *et al.* **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIRALDI-DIAZ, M. *et al.* Environmental impacts associated with intensive production in pig farms in Mexico through life cycle assessment. **Sustainability**, ST Alban-Anlage 66, Ch-4052 Basel, Switzerland, v. 13, n. 20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132011248>.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**. Italy, p. 11-32. 16 jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>. Acesso em: 10 nov. 2022.

GOMES, L. P. *et al.* Sustainability indicators in the evaluation of pig farms [Indicadores de sustentabilidade na avaliação de granjas suinícolas]. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 143–154, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000200005>.

GUTIERREZ, M. R. V. *et al.* Life cycle assessment of pig production - a case study in mexican farm. *In:* , 2018, Mihanoviceva 4, Varazdin, 00000, Croatia. **Economic and Social Development (ESD 2018): 35th international scientific conference**. Mihanoviceva 4, Varazdin, 00000, Croatia: Varazdin Development & Entrepreneurship Agency, 2018. p. 734–741.

HOLLAS, C. E. *et al.* Effects of swine manure storage time on solid-liquid separation and biogas production: A life-cycle assessment approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 150, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111472>.

HOLLAS, C. E. *et al.* Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: Electricity and biomethane production. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 354, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131654>.

HUI, X. *et al.* Evaluation on environmental impact of intensive pig production system in Hubei province. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 13, p. 183–189, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2016.13.026>.

HUONG, L. T. T. *et al.* Water-use efficiency of alternative pig farming systems in Vietnam. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 161, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104926>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Indicadores IBGE**: estatística da produção pecuária. Estatística da produção pecuária. 2022. Disponível em: [https://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Pecuaria/Fasciculo\\_Indicadores\\_IBGE/abate-leite-couro-ovos\\_202201caderno.pdf](https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202201caderno.pdf). Acesso em: 12 dez. 2022.

KAUARK, F. S. MANHÃES, F. C. MEDEIROS, Carlos H. **Metodologia da Pesquisa: um guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KAYIKCI, Y. *et al.* A Conceptual framework for food loss and waste in agri-food supply chains: circular economy perspective. **Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes**, [s. l.], p. 41–53, 2021. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-3791-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-16-3791-9_3).

KHOSHNEVISAN, B. *et al.* A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 135, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110033>.

KOWALSKI, Z.; MAKARA, A. The circular economy model used in the polish agro-food consortium: A case study. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 284, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124751>.

LAINIZ, M. *et al.* Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation. **New Biotechnology**, Elsevier B.V., 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2017.05.006>.

LEE, W.-C.; CHANG, C.-C. Effectively recycling swine wastewater by coagulation-flocculation of nonionic polyacrylamide. **Sustainability**, St Alban-Anlage 66, Ch-4052 Basel, Switzerland, v. 14, n. 3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14031742>.

LEITE, S. A. F. *et al.* Application of cleaner production methodology to evaluate the generation of bioenergy in a small swine farm. **Pres 2014, 17th Conference on process integration, modelling and optimisation for energy saving and pollution reduction**, pts 1-3, [s. l.], v. 39, p. 589–594, 2014.

LÓPEZ-SÁNCHEZ, A. *et al.* Microalgae-based livestock wastewater treatment (MbWT) as a circular bioeconomy approach: Enhancement of biomass productivity, pollutant removal and high-value compound production. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 308, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114612>.

LUOSTARINEN, S. *et al.* Modeling manure quantity and quality in Finland. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 2, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00060>.

MADEIRA, J. G. *et al.* Hydrogen production from swine manure biogas via steam reforming of methane (SRM) and water gas shift (WGS): A ecological, technical, and economic analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford Ox5 1gb, England, v. 46, n. 13, p. 8961–8971, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.01.015>.

MAPA. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert++Suinocultura+de+baixa+emiss%C3%A3o+de+carbono.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MCAULIFFE, G. A.; CHAPMAN, D. V; SAGE, C. L. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 56, p. 12–22, 2016. Elsevier Inc. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.08.008>.

MILLERS, J.; PILVERE, I. Possibilities of biogas production from livestock waste in Latvia. *In:* , 2021, liela iela 2, Jelgava, lv-3001, Latvia. (a. Auzina, org.) **Economic Science for Rural Development**. Liela iela 2, Jelgava, Lv-3001, Latvia: Latvia Univ Life Sciences & Technologies, 2021. p. 424–432. Disponível em: <https://doi.org/10.22616/ESRD.2021.55.043>.

MOIOLI, S. *et al.* Simulation of different biogas upgrading processes and LCA for the selection of the best technology. *In:* , 2020. **ASABE 2020 Annual International Meeting**. [S. l.]: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.13031/aim.202000500>.

MOLINA-MORENO, V. *et al.* Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water (Switzerland)**, [s. l.], v. 9, n. 9, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w9090653>.

MUHL, D. D.; OLIVEIRA, L. Technologies for the circular economy in agriculture. **Iheringia Serie Botanica**, Caixa Postal 1188, Porto Alegre, RS 00000, Brazil, V. 77, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.21826/2446-82312022v77e2022008>.

MUIZNIECE, I. *et al.* Circular economy and bioeconomy interaction development as future for rural regions: Case study of Aizkraukle region in Latvia. **Environmental and Climate Technologies**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 129–146, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2019-0084>.

MURADIN, M.; JOACHIMIAK-LECHMAN, K.; FOLTYNOWICZ, Z. Evaluation of eco-efficiency of two alternative agricultural biogas plants. **Applied Sciences-Basel**, St Alban-Anlage 66, Ch-4052 Basel, Switzerland, v. 8, n. 11, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app8112083>.

NOYA, I. *et al.* Environmental assessment of the entire pork value chain in Catalonia – A strategy to work towards Circular Economy. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 589, p. 122–129, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.02.186>.

OLIVEIRA, A. C. L. *et al.* Feasibility of using different renewable energy sources in Brazilian swine farmings. **Journal of cleaner production**, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford Ox5 1gb, Oxon, England, v. 333, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130040>.

OLIVEIRA, S. *et al.* Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property. **Biomass and Bioenergy**, [s. l.], v. 35, n. 7, p. 2608–2618, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.048>.

ONU (Organização das Nações Unidas). **17 Metas para transformar o mundo**. 2015. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>. Acesso em: 12 out. de 2022.

ORNER, K. D. *et al.* Improving life cycle economic and environmental sustainability of animal manure management in marginalized farming communities through resource recovery. **Environmental Engineering Science**, [s. l.], v. 38, n. 5, p. 310–319, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/ees.2020.0262>.

OUNSANEHA, W. *et al.* Joint benchmarking and eco-efficiency for the sustainable performance of swine production in Thailand. **International Journal of Geomate**, [s. l.], v. 15, n. 49, p. 137–142, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21660/2018.49.7231>.

PACE. **The circular economy action agenda for food**. 2018. Platform for acceleratin the circular economy. Disponível em: <https://pacecircular.org/action-agenda/food>. Acesso em: 15 set. 2021.

PAN, D. *et al.* The impact of farm scale and technology characteristics on the adoption of sustainable manure management technologies: Evidence from hog production in China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 280, p. 124340, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124340>.

PEREIRA, R. B. *et al.* Energy from livestock waste: Using circular economy and territorial intelligence to build sustainable businesses. **Energy and Environment**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0958305X221108495>.

PEXAS, G. *et al.* Cost-effectiveness of environmental impact abatement measures in a European pig production system. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 182, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102843>.

PFEIFER, C. *et al.* The role of diversity and circularity to enhance the resilience of organic pig producers in Europe. **Animal - Open Space**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 100009, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.anopes.2022.100009>.

PPGEP. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção: o programa. O Programa**. 2021. Disponível em: <http://www.utfpr.edu.br/cursos/coordenacoes/stricto-sensu/ppgep-pg/sobre>. Acesso em: 31 jan. 2023.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Connect the dots**. 2016. Disponível em: <https://iabr.nl/media/document/original/connectthedots.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2023.

PRODANOV, C. C. FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REBOLLEDO-LEIVA, R. *et al.* Coupling material flow analysis and network DEA for the evaluation of eco-efficiency and circularity on dairy farms. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 31, p. 805–817, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.023>.

ROBERTSON-FALL, T. **Five benefits of a circular economy for food**. 2021. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/articles/five-benefits-of-a-circular-economy-for-food>. Acesso em: 15 set. 2022.

RODIAS, E. *et al.* Water-energy-nutrients synergies in the agrifood sector: A circular economy framework. **Energies**, [s. l.], v. 14, n. 1, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/en14010159>.

RUCKLI, A. K. *et al.* Environmental sustainability assessment of pig farms in selected european countries: Combining lca and key performance indicators for biodiversity assessment. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 20, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132011230>.

RUCKLI, A. K. *et al.* Integrative sustainability analysis of european pig farms: Development of a multi-criteria assessment tool. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 14, n. 10, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14105988>.

RUKUNDO, R. *et al.* A methodological approach to designing circular economy indicators for agriculture: An application to the egg sector. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13158656>.

SALVIA, R.; ANDREOPOULOU, Z. S.; QUARANTA, G. The circular economy: A broader perspective for rural areas. **Rivista di Studi sulla Sostenibilità**, [s. l.], v. 2018, n. 1, p. 87–105, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3280/RISS2018-001008>.

SANTOS, A. M. *et al.* **Biological Swine Wastewater Treatment**. [S. l.]: wiley, 2023. *E-book*. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119725237.ch8>.

SCHNEIDER, V.; ZANONI, N.; CARRA, S. Cluster formation of potential assessment for swine manure treatment and biogas generation in an experimental watershed in Rio Grande do Sul, Brazil. **Waste Management and the Environment VIII**. Ashurst Lodge, Southampton So40 7aa, Ashurst, England: Wit Press, 2016. p. 323–332. Disponível em: <https://doi.org/10.2495/WM160291>.

SECCO, C. *et al.* Circular economy in the pig farming chain: Proposing a model for measurement. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 260, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121003>.

SILVA, I. *et al.* A pig slurry feast/famine feeding regime strategy to improve mesophilic anaerobic digestion efficiency and digestate hygienisation. **Waste Management & Research**, [s. l.], v. 39, n. 7, p. 947–955, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0734242X20972794>.

SILVA, J. C. A. *et al.* Forecast of electric energy generation potential from swine manure in Santa Catarina, Brazil. **Environment, development and sustainability**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 2305–2319, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0291-z>

SOARES, C. A. *et al.* Biogas yield prospection from swine manure and placenta in real-scale systems on circular economy approach. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, [s. l.], v. 25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101598>.

SOUSA, S. *et al.* Energetic valorization of cereal and exhausted coffee wastes through anaerobic co-digestion with pig slurry. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 5, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.642244>.

STOKLOSA, H.; KOWALSKI, Z.; MAKARA, A. Application of circular economy model and cleaner technologies on the example of the Polish agro-food company Farmutil. **Przemysł Chemiczny**, [s. l.], v. 98, n. 5, p. 709–714, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.15199/62.2019.5.3>.

SU, G. *et al.* Valorization of animal manure via pyrolysis for bioenergy: A review. **Journal of Cleaner Production**, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford Ox5 1gb, Oxon, England, v. 343, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130965>.

USDA (United States Department Of Agriculture). **Production, supply and Distribution**: PSD Online. 2023. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em: 10 fev. 2023.

UVAROVA, I.; ATSTAJA, D.; KORPA, V. Challenges of the introduction of circular business models within rural smes of eu. **International Journal Of Economic Sciences**, Kamerunská 607-1, Prague, 16000, Czech Republic, v. 9, n. 2, p. 128–149, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.20472/ES.2020.9.2.008>.

VALORIZA. **Centro de investigação para a valorização de recursos endógenos**. 2023. Sobre. Disponível em: <https://valoriza.ipportalegre.pt/>. Acesso em: 31 jan. 2023.

VANEECKHAUTE, C. *et al.* Closing nutrient loops through decentralized anaerobic digestion of organic residues in agricultural regions: A multi-dimensional sustainability assessment. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 136, p. 110–117, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.03.027>.

VUNNAVA, V. S. G.; SINGH, S. Integrated mechanistic engineering models and macroeconomic input-output approach to model physical economy for evaluating the impact of transition to a circular economy. **Energy and Environmental Science**, [s. l.], v. 14, n. 9, p. 5017–5034, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/d1ee00544h>.

WANG, Y. *et al.* Mitigating greenhouse gas and ammonia emissions from swine manure management: A system analysis. **Environmental Science and Technology**, [s. l.], v. 51, n. 8, p. 4503–4511, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06430>.

WEN-CONG, L.; YONG-XI, M.; BERGMANN, H. Technological options to ameliorate waste treatment of intensive pig production in China: An analysis based on bio-economic model. **Journal Of Integrative Agriculture**, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford Ox5 1gb, Oxon, England, v. 13, n. 2, p. 443–454, 2014. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(13\)60582-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60582-1).

WORLD ECONOMIC FORUM. **Circular Economy**: strategic intelligence. Strategic Intelligence. 2023. Disponível em: <https://intelligence.weforum.org/topics/a1Gb0000000pTDMEA2>. Acesso em: 05 fev. 2023.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Our food system is no longer fit for the 21st century**: here are three ways to fix it. Here are three ways to fix it. 2019. Disponível

em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/how-to-build-a-circular-economy-for-food/>. Acesso em: 13 jul. 2022.

XUE, Y.-N. *et al.* Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 238, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117968>.

XUE, Y.; WANG, H.; MA, Y. Economic benefits comparison of two pig breeding cycle modes - Taking Liaoning Province as an example. *In:* , 2018. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. [S. l.]: Institute of Physics Publishing, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042068>.

YAZAN, D. M. *et al.* Economic sustainability of biogas production from animal manure: a regional circular economy model. **Management Research Review**, [s. l.], v. 41, n. 5, p. 605–624, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/MRR-02-2018-0053>.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração, 2013. 134 p. Disponível em: [http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/UAB\\_2014\\_2/Modulo\\_1/Metodologia/material\\_didatico/Livro%20texto%20Metodologia%20da%20Pesquisa.pdf](http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/UAB_2014_2/Modulo_1/Metodologia/material_didatico/Livro%20texto%20Metodologia%20da%20Pesquisa.pdf). Acesso em: 10 set. 2022.

ZHANG, S. *et al.* Pork production systems in china: a review of their development, challenges and prospects in green production. **Frontiers Of Agricultural Science And Engineering**, Chaoyang Dist, 4, Huixindongjie, Fusheng Bldg, Beijing 100029, Peoples R China, v. 8, n. 1, p. 15–24, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2020377>.

ZHANG, W. *et al.* Produce individual medium chain carboxylic acids (MCCA) from swine manure: Performance evaluation and economic analysis. **Waste Management**, [s. l.], v. 144, p. 255–262, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.001>.

ZHONG, Z. *et al.* Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the emergy theory: A case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing city, Fujian. **Shengtai Xuebao/ Acta Ecologica Sinica**, [s. l.], v. 32, n. 18, p. 5755–5762, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.5846/stxb201108101175>.

## **APÊNDICE A - Portfólio Final de Artigos**

**Tabela 2 – Características dos documentos encontrados na revisão de literatura**

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Citações	JCR
1	Åkerman et al. (2020)	Material politics in the circular economy: The complicated journey from manure surplus to resource	Economia Circular	Technical Research Centre of Finland, Finlandia	Geoforum	16	3,926
2	Vaneekhaute et al. (2018)	Closing nutrient loops through decentralized anaerobic digestion of organic residues in agricultural regions: A multi-dimensional sustainability assessment	Digestão Anaeróbica	Université Laval, Canadá	Resources, Conservation And Recycling	50	13,716
3	Secco et al. (2020)	Circular economy in the pig farming chain: Proposing a model for measurement	Economia Circular	Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil	Journal Of Cleaner Production	21	11,072
4	Cheng et al. (2020)	Recent advancement on biological technologies and strategies for resource recovery from swine wastewater	Águas Residuais	National Cheng Kung University, Taiwan	Bioresource Technology	62	11,889
5	Hollas et al. (2021)	Effects of swine manure storage time on solid-liquid separation and biogas production: A life-cycle assessment approach	Avaliação Ciclo de Vida	Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil	Renewable And Sustainable Energy Reviews	13	2,847
6	Hollas et al. (2022)	Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: Electricity and biomethane production	Avaliação Ciclo de Vida	Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil	Journal Of Cleaner Production	4	11,072
7	Bortoli et al. (2022)	Water reuse as a strategy for mitigating atmospheric emissions and protecting water resources for the circularity of the swine production chain	Águas Residuais	Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil	Journal Of Cleaner Production	2	11,072
8	Soares et al. (2020)	Biogas yield prospection from swine manure and placenta in real-scale systems on circular economy approach	Tratamento de Estrume	Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil	Biocatalysis And Agricultural Biotechnology	6	7,291
9	Candido et al. (2022)	Integration of swine manure anaerobic digestion and digestate nutrients removal/recovery under a circular economy concept	Digestão Anaeróbica	Universidade Federal da Fronteira Sul, Brasil	Journal Of Environmental Management	17	8,91
10	Noya et al. (2017)	Environmental assessment of the entire pork value chain in Catalonia – A strategy to work towards Circular Economy	Economia Circular	University of Santiago de Compostela, Espanha	Science Of The Total Environment	59	10,753
11	Lee e Tsai (2020)	Valorization of value-added resources from the anaerobic digestion of swine-raising manure for circular economy in Taiwan	Digestão Anaeróbica	Tajen University, Taiwan	Fermentation	6	5,123
12	Silva et al. (2021)	A pig slurry feast/famine feeding regime strategy to improve mesophilic anaerobic digestion efficiency and digestate hygienisation	Digestão Anaeróbica	Instituto Superior de Agronomia, Portugal	Waste Management & Research	4	4,432
13	Muhl e Oliveira (2022)	Technologies for the circular economy in agriculture	Economia Circular	Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil	Iheringia Serie Botanica	2	0,314

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Citações	JCR
14	Sousa et al. (2021)	Energetic Valorization of Cereal and Exhausted Coffee Wastes Through Anaerobic Co-digestion With Pig Slurry	Digestão Anaeróbica	Instituto Superior de Agronomia, Portugal	Frontiers In Sustainable Food Systems	1	5,005
15	Ferrer et al. (2021)	Effects of Orange Pulp Conservation Methods on the Nutritional Value for Finishing Pigs and Implications on Potential Gaseous Emissions from Slurry	Emissões	Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Espanha	Animals	2	3,231
16	Santos et al. (2023)	Biological Swine Wastewater Treatment	Águas Residuais	Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil	Applied Water Science	-	5,411
17	Beyers et al. (2022)	Effect of natural and regulatory conditions on the environmental impacts of pig slurry acidification across different regions in Europe: A life cycle assessment	Avaliação Ciclo de Vida	University of Copenhagen, Dinamarca	Journal Of Cleaner Production	0	11,072
18	Fu e Liu (2019)	Value flow calculation and evaluation of pig- biogas project -fruit circular economy development model	Economia Circular	Universidade de Gutian, China	Transactions Of The Chinese Society Of Agricultural Engineering	1	-
19	Jiménez-de-Santiago, Yagüe e Bosh-Serra (2019)	Soil water repellency after slurry fertilization in a dryland agricultural system	Águas Residuais	University of Lleida, Espanha	Catena	11	6,367
20	Xue, Wang e Ma (2018)	Economic benefits comparison of two pig breeding cycle modes - Taking Liaoning Province as an example	Economia Circular	Dalian Maritime University, China	IOP Conference Series: Earth And Environmental Science	1	-
21	Molina-Moreno et al. (2017)	Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry	Economia Circular	University of Granada, Espanha	Water (Switzerland)	72	13,4
22	Kamilaris e Prenafeta-Boldú (2021)	Examining the perspectives of using manure from livestock farms as fertilizer to crop fields based on a realistic simulation	Tratamento de Estrume	University of Twente, Países Baixos	Computers And Electronics In Agriculture	5	6,757
23	López-Sánchez et al. (2022)	Microalgae-based livestock wastewater treatment (MbWT) as a circular bioeconomy approach: Enhancement of biomass productivity, pollutant removal and high-value compound production	Microalgas	Escuela de Ingeniería y Ciencias, México	Journal Of Environmental Management	15	8,91
24	Borges et al. (2017)	Optimization of animal manure vermicomposting based on biomass production of earthworms and higher plants	Tratamento de Estrume	Universidade do Vale do Itajaí, Brasil	Journal Of Environmental Science And Health - Part B	9	2,505
25	Millers e Pilvere (2021)	Possibilities of biogas production from livestock waste in Latvia	Digestão Anaeróbica	Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia	Economic Science For Rural Development	1	-

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Citações	JCR
26	Kowalski e Makara (2021)	The circular economy model used in the polish agro-food consortium: A case study	Economia Circular	Mineral and Energy Economy Research Institute Polish Academy of Sciences, Polônia	Journal Of Cleaner Production	18	11,072
27	Stoklosa, Kowalski e Makara (2019)	Application of circular economy model and cleaner technologies on the example of the Polish agro-food company Farmutil	Economia Circular	Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi I Energia, Polônia	Przemysl Chemiczny	8	0,49
28	Zhang et al. (2022)	Produce individual medium chain carboxylic acids (MCCA) from swine manure: Performance evaluation and economic analysis	Tratamento de Estrume	Chinese Academy of Agricultural Sciences, China	Waste Management	0	8,816
29	Tu et al. (2009)	Theory and application research on construction of planting and livestock breeding biomass energy industry based on system dynamics	Economia Circular	Nanchang University, China	System Engineering Theory And Practice	8	-
30	Vunnava e Singh (2021)	Integrated mechanistic engineering models and macroeconomic input-output approach to model physical economy for evaluating the impact of transition to a circular economy	Economia Circular	Purdue University, Estados Unidos	Energy And Environmental Science	4	39,714
31	Zhong et al. (2012)	Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the emergy theory: A case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing city, Fujian	Economia Circular	Agricultural Ecology Institute, China	Acta Ecologica Sinica	7	-
32	Kim et al. (2020)	Biodiesel synthesis from swine manure	Tratamento de Estrume	Sejong University, Coreia do Sul	Bioresource Technology	8	11,889
33	Hu et al. (2021)	Filamentous microalgae as an advantageous co-substrate for enhanced methane production and digestate dewaterability in anaerobic co-digestion of pig manure	Digestão Anaeróbica e Microalgas	National University of Ireland, Irlanda	Waste Management	17	8,816
34	Blázquez et al. (2021)	Investigating the potential of the slurry technology for sustainable pig farm heating	Tratamento de Estrume	University of Salamanca, Espanha	Energy	2	8.857
35	Pan et al. (2021)	The impact of farm scale and technology characteristics on the adoption of sustainable manure management technologies: Evidence from hog production in China	Tratamento de Estrume	Jiangxi University of Finance and Economics, China	Journal Of Cleaner Production	13	11,072
36	Bernet e Béline (2009)	Challenges and innovations on biological treatment of livestock effluents	Tratamento de Estrume	Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), França	Bioresource Technology	198	11,889
37	Pfeifer et al. (2022)	The role of diversity and circularity to enhance the resilience of organic pig producers in Europe	Economia Circular	Institute of Organic Agriculture (FiBL), Suíça	Animal - Open Space	0	3,73
38	Gabriela et al. (2018)	Participatory evaluation of the sustainability of pig production systems in deep bed in the community of	Economia Circular	Universidad Centroccidental "Lisandro	Agroindustria Sociedad Y Ambiente Asa	0	-

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Citações	JCR
		pena larga, barinas state - Venezuela		Alvarado", Venezuela			
39	Oliveira et al. (2011)	Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property	Economia Circular	Universidade de São Paulo (USP), Brasil	Biomass And Bioenergy	62	5,774
40	Wen-Cong, Yong-Xi e Bergmann (2014)	Technological Options to Ameliorate Waste Treatment of Intensive Pig Production in China: An Analysis Based on Bio-Economic Model	Tratamento de Estrume	Zhejiang University, China	Journal of Integrative Agriculture	16	4,384
41	Gutierrez et al. (2018)	Life cycle assessment of pig production - a case study in Mexican farm	Avaliação Ciclo de Vida	Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias de Lisboa, Portugal	Economic And Social Development: 35th International Scientific Conference	1	-
42	Su et al. (2022)	Valorization of animal manure via pyrolysis for bioenergy: A review	Tratamento de Estrume	Faculty of Engineering, University of Malaya, Malásia	Journal Of Cleaner Production	5	11,072
43	Zhang et al. (2021)	Pork production systems in china: a review of their development, challenges and prospects in green production	Economia Circular	China Agricultural University, China	Frontiers Of Agricultural Science And Engineering	8	-
44	Shi et al. (2022)	Recognition on characteristics and applicability of typical modes for manure & sewage management in pig farming: A case study in Hebei, China	Tratamento de Estrume	Chinese Academy of Agricultural Sciences, China	Waste Management	0	8,816
45	Ruckli et al. (2022)	Integrative Sustainability Analysis of European Pig Farms: Development of a Multi-Criteria Assessment Tool	Economia Circular	University of Natural Resources and Life Sciences, Áustria	Sustainability (Switzerland)	1	3,889
46	Bautista, Aguilar e Gijón-Yescas (2022)	Pig farms in karst areas: how do we go from pollution to sustainability?	Economia Circular	Universidad Nacional Autónoma de México, México	Tropical And Subtropical Agroecosystems	0	-
47	Ruckli et al. (2021)	Environmental sustainability assessment of pig farms in selected european countries: Combining lca and key performance indicators for biodiversity assessment	Economia Circular	University of Natural Resources and Life Sciences, Áustria	Sustainability (Switzerland)	2	3,889
48	Omer et al. (2021)	Improving Life Cycle Economic and Environmental Sustainability of Animal Manure Management in Marginalized Farming Communities through Resource Recovery	Avaliação Ciclo de Vida	University of South Florida, Estados Unidos	Environmental Engineering Science	12	2,172
49	Huong et al. (2020)	Water-use efficiency of alternative pig farming systems in Vietnam	Águas Residuais	Kyushu University, Japão	Resources, Conservation And Recycling	8	13,716
50	Pexas et al. (2020)	Cost-effectiveness of environmental impact abatement measures in a European pig production system	Economia Circular	Newcastle University, Reino Unido	Agricultural Systems	9	6,765
51	Diel et al. (2020)	Economic management model of electricity generated from biomass in a pig farm	Economia Circular	Universidade Federal de Santa Maria, Brasil	Engenharia Agricola	1	0,856

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Citações	JCR
52	Huyen et al. (2019)	Diversity and sustainability of pig farm types in the northern mountains of Vietnam	Economia Circular	National Institute of Animal Sciences Vietnam, Vietnam	Tropical Animal Health And Production	3	1,893
53	Bandekar et al. (2019)	Life cycle assessment of alternative swine management practices	Avaliação Ciclo de Vida	University of Arkansas, Estados Unidos	Journal Of Animal Science	15	3,338
54	Ounsaneha et al. (2018)	Joint benchmarking and eco-efficiency for the sustainable performance of swine production in Thailand	Economia Circular	Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Tailândia	International Journal Of GEOMATE	0	-
55	Wang et al. (2017)	Mitigating Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Swine Manure Management: A System Analysis	Tratamento de Estrume	Chinese Academy of Agricultural Sciences, China	Environmental Science And Technology	86	11.357
56	Hui et al. (2016)	Evaluation on environmental impact of intensive pig production system in Hubei province	Economia Circular	China Agricultural University, China	Transactions Of The Chinese Society Of Agricultural Engineering	3	-
57	Araújo et al. (2016)	Financial Aspects of Pig Production in Brazil: Case Study in a Farm using Sustainable Management	Economia Circular	Universidade Paulista, Brasil	ILS 2016 - 6th International Conference On Information Systems, Logistics And Supply Chain	2	-
58	Bonneau et al. (2014)	Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: The procedure, the evaluated systems and the evaluation tools	Economia Circular	INRA - Saint Gilles, França	Animal	16	3,73
59	Bonneau et al. (2014)	Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: Integrated evaluation	Economia Circular	INRA - Saint Gilles, França	Animal	29	3,73
60	Gomes et al. (2014)	Sustainability indicators in the evaluation of pig farms	Economia Circular	Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil	Engenharia Sanitaria E Ambiental	0	0,551
61	Madeira et al. (2021)	Hydrogen production from swine manure biogas via steam reforming of methane (SRM) and water gas shift (WGS): A ecological, technical, and economic analysis	Tratamento de Estrume	Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio de Janeiro, Brasil	International Journal Of Hydrogen Energy	16	7,139
62	Camargo et al. (2018)	Sustainability indicators in the swine industry of the Brazilian State of Santa Catarina	Economia Circular	Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Brasil	Environment Development And Sustainability	13	4,08
63	Lee e Chang (2022)	Effectively Recycling Swine Wastewater by Coagulation-Flocculation of Nonionic Polyacrylamide	Águas Residuais	National Chiayi University, Taiwan	Sustainability	3	3,889
64	Giraldi-Diaz et al. (2021)	Environmental Impacts Associated with Intensive Production in Pig Farms in Mexico through Life Cycle Assessment	Avaliação Ciclo de Vida	Universidad Veracruzana, México	Sustainability	1	3,889

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Citações	JCR
65	Schneider, Zaroni e Carra (2016)	Cluster formation of potential assessment for swine manure treatment and biogas generation in an experimental watershed in RS, Brazil	Tratamento de Estrume	Universidade de Caxias do Sul, Brasil	Waste Management And The Environment	0	-
66	Oliveira et al. (2022)	Feasibility of using different renewable energy sources in Brazilian swine farmings	Economia Circular	Universidade Federal de Viçosa, Brasil	Journal Of Cleaner Production	6	11,072
67	Peerapong e Limmeechokchai (2017)	Biogas-based electricity generation in swine farm in Thailand: Economic and CO2 reduction aspects	Digestão Anaeróbica	Thammasat University Klongluang, Tailândia	International Conference On Alternative Energy In Developing Countries And Emerging Economies	5	-
68	Zhang et al. (2021)	Environmental sustainability assessment of pig manure mono- and co-digestion and dynamic land application of the digestate	Digestão Anaeróbica	National University of Ireland Galway, Irlanda	Renewable And Sustainable Energy Reviews	23	2,847
69	Duan et al. (2020)	Life cycle assessment of anaerobic digestion of pig manure coupled with different digestate treatment technologies	Digestão Anaeróbica e Avaliação do Ciclo de Vida	China Agricultural University, China	Environment International	68	13,352
70	Pereira et al. (2022)	Energy from livestock waste: Using circular economy and territorial intelligence to build sustainable businesses	Economia Circular	Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil	Energy And Environment	0	3,154
71	Giang et al. (2021)	Recycling Wastewater in Intensive Swine Farms: Selected Case Studies in Vietnam	Águas Residuais	Vietnam National University of Agriculture, Vietnam	Journal Of The Faculty Of Agriculture Kyushu University	3	0,385
72	Xue et al. (2019)	Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China	Tratamento de Estrume	Dalian Maritime University, China	Journal Of Cleaner Production	44	11,072
73	Awasthi et al. (2019)	A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: Technological challenges, advancements, innovations, and future perspectives	Economia Circular	Northwest A&F University, China	Renewable And Sustainable Energy Reviews	144	2,847
74	Khoshnevisan et al. (2021)	A critical review on livestock manure biorefinery technologies: Sustainability, challenges, and future perspectives	Biorrefinaria	Chinese Academy of Agricultural Sciences, China	Renewable And Sustainable Energy Reviews	98	2,847
75	Muradin; Joachimiak-Lechman; Foltynowicz (2018)	Evaluation of Eco-Efficiency of Two Alternative Agricultural Biogas Plants	Tratamento de Estrume	Poznań University of Economics and Business, Polônia	Applied Sciences-Basel	40	2,838
76	Calicioglu e Bogdanski (2021)	Linking the bioeconomy to the 2030 sustainable development agenda: Can SDG indicators be used to monitor progress towards a sustainable bioeconomy?	Economia Circular	Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Itália	New Biotechnology	49	6,49
77	Do et al. (2022)	Metagenomic and HT-qPCR analysis reveal the microbiome and resistome in pig slurry under storage, composting, and anaerobic digestion	Digestão Anaeróbica	Maynooth University, Irlanda	Environmental Pollution	3	9,988

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Citações	JCR
78	Yazan et al. (2018)	Economic sustainability of biogas production from animal manure: a regional circular economy model	Tratamento de Estrume	Universiteit Twente, Enschede, Países Baixos	Management Research Review	41	-
79	Awasthi et al. (2022)	Multi-criteria research lines on livestock manure biorefinery development towards a circular economy: From the perspective of a life cycle assessment and business models strategies	Biorefinaria	Northwest A&F University, Yangling, China	Journal Of Cleaner Production	23	11,072
80	Kirby et al. (2020)	A Novel Nitrogen Removal Technology Pre-Treating Chicken Manure, Prior to Anaerobic Digestion	Digestão Anaeróbica	Harper Adams University, Reino Unido	Sustainability	1	3,889
81	Lahlou, Mackey e Al-Ansari (2021)	Wastewater reuse for livestock feed irrigation as a sustainable practice: A socio-environmental-economic review	Águas Residuais	Hamad Bin Khalifa University, Qatar	Journal Of Cleaner Production	40	11,072
82	Rebolledo-Leiva et al. (2022)	Coupling Material Flow Analysis and Network DEA for the evaluation of eco-efficiency and circularity on dairy farms	Economia Circular	Universidade de Santiago de Compostela, Espanha	Sustainable Production And Consumption	4	8,921
83	Bux e Amicarelli (2022)	Material flow cost accounting (MFCA) to enhance environmental entrepreneurship in the meat sector: Challenges and opportunities	Economia Circular	University of Bari Aldo Moro, Itália	Journal Of Environmental Management	6	8,91
84	van der Velden et al. (2022)	Closed-loop organic waste management systems for family farmers in Brazil	Digestão Anaeróbica	University College London, Reino Unido	Environmental Technology	10	3,475
85	Colella et al. (2021)	Challenges and opportunities for more efficient water use and circular wastewater management. The case of Campania Region, Italy	Águas Residuais	Parthenope University of Naples, Itália	Journal Of Environmental Management	11	8,91
86	Rukundo et al. (2021)	A methodological approach to designing circular economy indicators for agriculture: An application to the egg sector	Economia Circular	Laval University, Canadá	Sustainability (Switzerland)	6	3,889
87	Tambovceva e Tereshina (2021)	Comprehensive diagnostics of risk assessment for sustainable development of rural areas	Economia Circular	Riga Technical University, Latvia	Engineering For Rural Development	1	-
88	Moioli et al. (2020)	Simulation of different biogas upgrading processes and LCA for the selection of the best technology	Economia Circular	Politecnico di Milano, Itália	ASABE 2020 Annual International Meeting	2	-
89	Burggraaf et al. (2020)	Application of circular economy principles to new Zealand pastoral farming systems	Economia Circular	AgResearch Ltd, Nova Zelândia	Journal Of New Zealand Grasslands	5	-
90	Muizniece et al. (2019)	Circular Economy and Bioeconomy Interaction Development as Future for Rural Regions. Case Study of Aizkraukle Region in Latvia	Economia Circular	Riga Technical University, Latvia	Environmental And Climate Technologies	14	-
91	Macura et al. (2019)	Effectiveness of ecotechnologies for recovery of nitrogen and phosphorus from anaerobic digestate and effectiveness of the recovery products as fertilisers: A systematic review protocol	Digestão Anaeróbica	Stockholm Environment Institute, Suécia	Environmental Evidence	46	3,734

ID	Referência	Título	Área	Instituição, País	Revista	Cita- ções	JCR
92	Luostarinen et al. (2018)	Modeling Manure Quantity and Quality in Finland	Economia Circular	Natural Resources Institute Finland, Finlândia	Frontiers In Sustainable Food Systems	16	5,005
93	Salvia, Andreopoulou e Quaranta (2018)	The circular economy: A broader perspective for rural areas	Economia Circular	University of Basilicata, Itália	Rivista Di Studi Sulla Sostenibilita	17	-
94	Awasthi et al. (2022)	Agricultural waste biorefinery development towards circular bioeconomy	Biorefinaria	Northwest A&F University, China	Renewable & Sustainable Energy Reviews	35	2,847
95	Uvarova, Atstaja e Korpa (2020)	Challenges of the introduction of circular business models within rural SMES of EU	Economia Circular	BA School of Business and Finance, Latvia	International Journal Of Economic Sciences	14	-
96	Dadrasnia et al. (2021)	Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration	Tratamento de Estrume	Swansea University, Reino Unido	Journal Of Cleaner Production	25	11,072
97	Donner et al. (2021)	Critical success and risk factors for circular business models valorising agricultural waste and by-products	Economia Circular	French National Research Institute for Agriculture, Food and Environment, França	Resources, Conservation And Recycling	84	13,716
98	Lainez et al. (2018)	Spanish strategy on bioeconomy: Towards a knowledge based sustainable innovation	Economia Circular	National Institute for the Agricultural and Food Research and Technology, Espanha	New Biotechnology	106	6,49
99	Rodias et al. (2021)	Water-energy-nutrients synergies in the agrifood sector: A circular economy framework	Águas Residuais	Institute for Bio-Economy and Agri-Technology (iBO), Grécia	Energies	26	3,252
100	Kayıkçı et al. (2021)	A Conceptual Framework for Food Loss and Waste in Agri-Food Supply Chains: Circular Economy Perspective	Economia Circular	Turkish-German University, Turquia	Environmental Footprints And Eco-Design Of Products And Processes	3	-

## **APÊNDICE B - Questionário de Pesquisa**

## DESENVOLVIMENTO DA ECONOMIA CIRCULAR NA SUINOCULTURA

Esta pesquisa tem como objetivo identificar as práticas sustentáveis utilizadas por propriedades suinícolas para recuperação, valorização e tratamento de resíduos e mitigação de impactos ambientais com vistas no desenvolvimento da economia circular nos variados modelos de negócios.

Espera-se entender a realidade atual do setor consoante as tecnologias aplicadas para o mapeamento de oportunidades e diferentes estratégias com o foco no aperfeiçoamento de práticas circulares e melhores resultados econômicos, ambientais, sociais e governança.

A pesquisa será dividida em 3 seções, sendo elas:

1. Identificação do negócio - Características do modelo de negócios
2. Tratamento de resíduos - Técnicas utilizadas para o tratamento de resíduos
3. Familiaridade com tecnologias de valorização ambiental - Conhecimento sobre as tecnologias

### **Tempo médio de resposta: 10 minutos**

Este estudo faz parte da dissertação de mestrado de um aluno do Laboratório de Sistemas Produtivos Sustentáveis (LESP), sediado no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Ponta Grossa-PR.

Os dados aqui computados serão usados exclusivamente para fins acadêmicos.

Agradecemos imensamente a vossa contribuição!

### **IDENTIFICAÇÃO DO NEGÓCIO**

Nessa seção será realizado algumas perguntas sobre as características da propriedade, modelos de negócio e fontes de recursos.

1. Nome da propriedade (Opcional): \_\_\_\_\_
2. Localização: \_\_\_\_\_

3. Como é constituído o modelo de negócios na sua propriedade?

- Suínos;
- Aves;
- Gado;
- Grãos;
- Cereais;
- Leguminosos;
- Frutíferas;
- Produção e venda de energia;
- Outros: \_\_\_\_\_

4. Quantas cabeças de suínos possui?

- até 50;
- de 51 a 500;
- de 501 a 2.000;
- de 2.001 a 5.000;
- de 5.001 a 10.000;
- mais de 10.001.

5. Qual o tipo de produção adotado?

- Produção de ciclo completo - todas as fases de produção;
- Produção de leitões - fase de reprodução e tem como produto final os leitões;
- Produção de terminados - somente a fase de terminação;
- Produção de reprodutores visa - futuros reprodutores machos e fêmeas.

6. Qual a técnica de produção adotada?

- Subsistência (Extensivo);
- Agroecológico montanha (Extensivo);
- Ao ar livre, em que os animais ficam em piquetes (Intensivo);
- Semiconfinado, utiliza-se piquetes para machos e cobertura para fêmeas (Intensivo);
- Confinado sobre cama - deep bedding - (Intensivo);
- Confinado tradicional, todas as categorias permanecem sobre piso e sob cobertura (Intensivo);
- Confinado de alta tecnologia (Intensivo).

7. Quais são as fontes de energia utilizadas nos processos de produção?

- Companhia de energia;
- Fotovoltaica;
- Eólica;
- Mini hidrelétrica;
- Bioenergia (biogás ou biomassa);

- ( ) Gás natural;
- ( ) Gerador a diesel;
- ( ) Outros: \_\_\_\_\_

8. Qual a origem do recurso água utilizado?

- ( ) Companhia de saneamento;
- ( ) Água das chuvas;
- ( ) Água de rios/lagos;
- ( ) Água de poços artesianos;
- ( ) Água de nascentes;
- ( ) Água de reaproveitamento;
- ( ) Outros: \_\_\_\_\_

9. Qual a origem dos recursos utilizados para alimentação dos suínos?

- ( ) Totalmente produção própria;
- ( ) Totalmente fornecedores terceiros;
- ( ) Misto (Produção própria e fornecedores);
- ( ) Cooperativas;
- ( ) Agricultores independentes;
- ( ) Outros: \_\_\_\_\_

## **TRATAMENTO ATUAL DOS RESÍDUOS GERADOS**

Nessa seção será realizado perguntas sobre os processos utilizados para o tratamento e valorização dos diferentes resíduos gerados nos processos da suinocultura.

1. Qual o processo utilizado para o tratamento e valorização do estrupe?

- ( ) Não há tratamento, descarte direto na natureza;
- ( ) Venda do estrupe a terceiros para posterior tratamento;
- ( ) Lagoa de decantação;
- ( ) Esterqueira ou Bioesterqueira;
- ( ) Biodigestor (Digestão Anaeróbica);
- ( ) Biodigestor misto (Co-digestão Anaeróbica);
- ( ) Compostagem;
- ( ) Cama sobreposta ou biológica;
- ( ) Pirólise, combustão ou incineração;
- ( ) Gaseificação;
- ( ) Outros: \_\_\_\_\_

2. Qual o processo para o tratamento e descarte das águas residuais?

- ( ) Não há tratamento, descarte direto na natureza;
- ( ) Encaminhado para tratamento fora da propriedade;
- ( ) Reaproveitamento para outro processo;
- ( ) Tanque equalização;
- ( ) Caixa de desarenação;
- ( ) Lagoa de decantação;
- ( ) Flotação;
- ( ) Filtração;
- ( ) Processos de membrana;
- ( ) Coagulação química;
- ( ) Floculação;
- ( ) Precipitação química;
- ( ) Desinfecção;
- ( ) Tratamento biológico;
- ( ) Produção de hidrogênio;
- ( ) Processos anaeróbicos;
- ( ) Processos aeróbicos;
- ( ) Algas e microalgas;
- ( ) SISTRATES (Sistema de tratamento de efluentes da suinocultura);
- ( ) Extração de nutrientes;
- ( ) Outros: \_\_\_\_\_

3. Qual o processo utilizado para o tratamento e mitigação de emissões atmosféricas e odores?

- ( ) Não há controle de emissões de gases;
- ( ) Não há controle de odores;
- ( ) Biofiltros;
- ( ) Sistemas de recolha dos gases;
- ( ) Incineração dos gases;
- ( ) Lavagem dos gases;
- ( ) Utilização de chaminés;
- ( ) Aplicação de carvão ativado;
- ( ) Utilização de produtos químicos para reduzir a formação de sulfureto de hidrogênio;
- ( ) Uso de filtro de ar eletrostáticos úmidos;
- ( ) Dessulfuração;
- ( ) Adsorção química
- ( ) Outros: \_\_\_\_\_

4. Perante todos os processos de tratamento e valorização de resíduos utilizados, quais são os produtos gerados na propriedade?

- ( ) Biogás;

- ( ) Digestato / Biofertilizante;
- ( ) Composto orgânico / adubo;
- ( ) Bioenergia;
- ( ) Biocombustíveis;
- ( ) Bio-óleo;
- ( ) Biometano;
- ( ) Gás de síntese / Syngás;
- ( ) Biodiesel;
- ( ) Biochar;
- ( ) Cinzas fertilizantes;
- ( ) Água de reaproveitamento;
- ( ) Aquecimento;
- ( ) Enzimas;
- ( ) Hidrogênio;
- ( ) Amônia;
- ( ) Nenhum;
- ( ) Outros: \_\_\_\_\_

## **FAMILIARIDADE COM TECNOLOGIAS DE VALORIZAÇÃO AMBIENTAL E RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS**

Nessa seção será abordado o grau de conhecimento e aplicação das principais tecnologias utilizadas para o tratamento e valorização de resíduos na suinocultura.

### **1. Qual o seu grau de familiaridade com Biodigestores / Digestão Anaeróbica?**

- ( ) Não conheço essa tecnologia;
- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

### **2. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Biodigestores / Digestão Anaeróbica) em seu modelo de negócios, como é realizado?**

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;

- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

3. Qual o seu grau de familiaridade com Compostagem?

- ( ) Não conheço essa tecnologia;
- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

4. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Compostagem) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

5. Qual o seu grau de familiaridade com Lagoas de estabilização?

- ( ) Não conheço essa tecnologia;
- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

6. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Lagoas de estabilização) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

7. Qual o seu grau de familiaridade com Esterqueiras?

- Não conheço essa tecnologia;
- Já li sobre as suas aplicações;
- Conheço outros produtores que a utilizam;
- Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

8. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Esterqueiras) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- Outro: \_\_\_\_\_.

9. Qual o seu grau de familiaridade com Tratamento biológico de águas residuais?

- Não conheço essa tecnologia;
- Já li sobre as suas aplicações;
- Conheço outros produtores que a utilizam;
- Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

10. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Tratamento biológico) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- Outro: \_\_\_\_\_.

11. Qual o seu grau de familiaridade com SISTRATES (Sistema de tratamento de efluentes da suinocultura)?

- Não conheço essa tecnologia;

- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

12. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (SISTRATES - Sistema de tratamento de efluentes da suinocultura) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

13. Qual o seu grau de familiaridade com Microalgas e Algas?

- ( ) Não conheço essa tecnologia;
- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

14. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Microalgas e Algas) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

15. Qual o seu grau de familiaridade com a Produção de Hidrogênio?

- ( ) Não conheço essa tecnologia;
- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;

( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

16. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Produção de Hidrogênio) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

17. Qual o seu grau de familiaridade com a Pirólise, Combustão ou Incineração?

- ( ) Não conheço essa tecnologia;
- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

18. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Pirólise, Combustão ou Incineração) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

19. Qual o seu grau de familiaridade com a Gaseificação?

- ( ) Não conheço essa tecnologia;
- ( ) Já li sobre as suas aplicações;
- ( ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ( ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ( ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

20. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Gaseificação) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ) Outro: \_\_\_\_\_.

21. Qual o seu grau de familiaridade com Biorrefinaria?

- ) Não conheço essa tecnologia;
- ) Já li sobre as suas aplicações;
- ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

22. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Biorrefinaria) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ) Outro: \_\_\_\_\_.

23. Qual o seu grau de familiaridade com Biossíntese ou Fotobiorreator?

- ) Não conheço essa tecnologia;
- ) Já li sobre as suas aplicações;
- ) Conheço outros produtores que a utilizam;
- ) Tenho conhecimento básico sobre a tecnologia;
- ) Tenho conhecimento mais avançado pois tenho experiência/contato com essa tecnologia.

24. Consoante a aplicação e utilização dessa tecnologia (Biossíntese ou Fotobiorreator) em seu modelo de negócios, como é realizado?

- ( ) Aplico essa tecnologia atualmente em meu negócio para o tratamento de resíduos;
- ( ) Já apliquei, mas se tornou inviável para meu negócio;
- ( ) Já apliquei, mas mudei para tecnologias mais vantajosas;
- ( ) Não aplico por ser inviável para meu negócio;
- ( ) Não aplico, pois depende de altos investimentos;
- ( ) Não aplico, pois não conheço essa técnica;
- ( ) Não aplico, pois não tenho mão de obra especializada;
- ( ) Outro: \_\_\_\_\_.

Caso queira receber o resultado dessa pesquisa ao ser concluída, deixe aqui seu endereço de e-mail (Opcional): \_\_\_\_\_.