

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAENP – DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

IEDA BARRETO GONÇALVES
RAFAEL TOBIAS DE SOUZA OLIVEIRA

IMPACTO DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS NAS PROJEÇÕES DE
PRODUÇÃO DE BIOGÁS E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE
BIOMASSA RESIDUAL NA SUINOCULTURA POR MEIO DA
UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTOR

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

**IEDA BARRETO GONÇALVES
RAFAEL TOBIAS DE SOUZA OLIVEIRA**

**IMPACTO DA VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS NAS PROJEÇÕES DE
PRODUÇÃO DE BIOGÁS E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE
BIOMASSA RESIDUAL NA SUINOCULTURA POR MEIO DA
UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTOR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS PONTA GROSSA
Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção



TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

Impacto da Variação dos Parâmetros nas Projeções de Produção de Biogás e
Aproveitamento Energético de Biomassa Residual na Suinocultura por meio da
Utilização de Biodigestor

por

Ieda Barreto Gonçalves
Rafael Tobias de Souza Oliveira

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 22 de Junho de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Daniel Poletto Tesser
Prof. Orientador

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco
Membro titular

Prof. Fábio Neves Puglieri
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

RESUMO

GONÇALVES, Ieda B.; OLIVEIRA, Rafael T. S. **Impacto da Variação dos Parâmetros nas Projeções de Produção de Biogás e Aproveitamento Energético de Biomassa Residual na Suinocultura por meio da Utilização de Biodigestor**. 2018. 90p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Na atividade suinícola, a utilização de um biodigestor pode ser considerada um diferencial competitivo, pois além de ser uma alternativa para o tratamento dos resíduos gerados pela atividade, também pode produzir biogás para geração de energia. O presente estudo busca analisar como a variação dos parâmetros referentes ao volume de dejetos por suíno e ao volume de biogás produzido por dejetos afeta as projeções de produção de biogás e geração de energia elétrica. Ao se analisar a variação que o volume diário de dejetos causa nos resultados de geração de energia elétrica, encontra-se o intervalo 1.074,5 kWh à 4.297,8 kWh gerados mensalmente a partir do biogás. Neste caso, ambos os valores suprem o consumo mensal de 1000 kWh/mês da atividade suinícola na propriedade considerada. Realizada a mesma análise em relação ao parâmetro de produção de biogás por dejetos, encontra-se o intervalo de 268,6 kWh/mês à 7.521,2 kWh/mês. O valor mínimo encontrado neste último caso, não supre o consumo mensal da atividade suinícola na propriedade considerada, enquanto, o valor máximo, supera em 7 vezes esta demanda. Observa-se que a partir do espectro de variação analisado dos dois parâmetros, que o mais sensível de acordo com os dados coletados por diferentes autores é o volume de biogás produzido por dejetos, que varia de -90 a 180% de seu valor médio. Além disso, verifica-se por meio do presente estudo que este espectro de variação é influenciado principalmente pela quantidade de sólidos voláteis presentes por dejetos. Atrelado à importância da mensuração da quantidade de sólidos voláteis presentes por dejetos está o fato de ser relativamente simples de se obter laboratorialmente este valor. Dessa forma, o produtor rural pode trabalhar com parâmetros condizentes com sua realidade e assim realizar a tomada de decisão com base em projeções mais confiáveis. Portanto, o tema do estudo se mostra relevante para o conhecimento de produtores rurais que desejam investigar a aplicabilidade de um biodigestor em sua propriedade.

Palavras-chave: Economia Circular. Biodigestor. Suinocultura. Geração Distribuída.

ABSTRACT

GONÇALVES, Ieda B.; OLIVEIRA, Rafael T. S. **Impact of Variation of Parameters in the Biogas Production and Energy Use Projections of Residual Biomass in the Swineculture by the Use of Biodigester.** 2018. 90p. Work of Conclusion Course (Graduation in Industrial Engineering) - Federal Technological University - Paraná. Ponta Grossa, 2018.

In the swine activity, the use of a biodigester can be considered as a competitive differential, as it is an alternative for the treatment of the residues generated by the activity, it can also produce biogas for energy generation. The present study aims to analyze how the variation of the parameters related to the volume of waste per swine and the volume of biogas produced by swine manure affects the projections of biogas production and generation of electric energy. When analyzing the variation that the daily volume of wastes causes in the results of generation of electric energy, it is the interval 1,074,5 kWh to 4,297.8 kWh generated monthly from the biogas. In this case, both values supply the monthly consumption of 1000 kWh / month of the swine activity in the considered property. The same analysis was carried out in relation to the parameter of biogas production per manure, the range is 268.6 kWh / month to 7,521.2 kWh / month. The minimum value found in this last case does not supply the monthly consumption of the swine activity in the considered property, while the maximum value exceeds this demand by 7 times. It can be observed that from the analyzed variation spectrum of the two parameters, the most sensitive according to the data collected by different authors is the volume of biogas produced by manure, which varies from -90 to 180% of its average value. In addition, it is verified by means of the present study that this spectrum of variation is influenced mainly by the amount of volatile solids present by waste. Linked to the importance of measuring the amount of volatile solids present by waste is the fact that it is relatively simple to obtain this value in laboratory. In this way, the rural producer can work with parameters consistent with his reality and thus make the decision making based on more reliable projections. Therefore, the theme of the study is relevant for the knowledge of rural producers who wish to investigate the applicability of a biodigester in their property.

Keywords: Circular Economy. Biodigester. Swineculture. Distributed generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo de Vida de um produto	18
Figura 2– Processo de Tratamento de dejetos por Esterqueira	35
Figura 3– Processo de Tratamento de dejetos por Biodigestor Canadense	36
Figura 4 – Escopo da unidade suinícola produtiva de referência	57
Gráfico 1 - Evolução do abate de suínos por trimestre - Brasil - trimestres 2012-2017	22
Gráfico 2 - Volume de biogás produzido mensalmente com variação de Vdejetos - Volume de dejetos gerado por suíno	67
Gráfico 3 - Volume de biogás produzido mensalmente com variação do índice K1 - Produção de Biogás por Dejetos.....	71
Gráfico 4- Volume de biogás produzido mensalmente com variação do índice K1, produção de biogás por dejetos suíno, com base em valores de SV, quantidade de sólidos voláteis por dejetos, e valor médio de K2, produção de biogás por sólidos voláteis	75
Quadro 1 – Sistemas de Produção de Suínos	24
Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens de Esterqueiras e Biodigestores.....	34
Quadro 3 - Objetivos Específicos e Etapas de Desenvolvimento da Pesquisa	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantidade em cabeças de suínos abatidos e a variação existente entre os primeiros trimestres de 2016 e 2017, no Brasil e nas três Unidades Federativas do Sul	23
Tabela 2 - Representatividade, em quantidade e porcentagem, das granjas de Carne Suína de SC, PR e RS em 2015	25
Tabela 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores	29
Tabela 4 – Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores	31
Tabela 5- Percentual de gases na Composição do Biogás (%), por diferentes autores	39
Tabela 6 – Índice K1 de produção de biogás por dejetos de suínos em unidade de terminação, por diferentes autores	40
Tabela 7 – Índice K2 de produção de biogás por quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos, por diferentes autores	43
Tabela 8 - Equivalência Energética do Biogás	46
Tabela 9 – Índice de Geração de Eletricidade a partir do biogás, por diferentes autores	47
Tabela 10- Potência, Fator de Potência, Consumo, e Capacidade de Geração para diferentes Geradores a Biogás	48
Tabela 11 - Índice K1 de produção biogás, com base em valores de K2 de produção de biogás por sólidos voláteis e de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos	59
Tabela 12- Tempo de Funcionamento calculado para diferentes escolhas de Geradores a Biogás, considerando a produção diária de biogás da unidade suinícola produtiva de referência	61
Tabela 13– Cenário Base da unidade suinícola produtiva de referência	63
Tabela 14 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação de Vdejetos - Volume de Dejeito gerado por suíno diariamente	65
Tabela 15 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a Variação do índice K1 de produção de biogás por dejeito suíno	69
Tabela 16 - Índice K1, produção de biogás por dejetos de suínos, com base em valores de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos e valor médio de K2 de 0,487 de produção de biogás por sólidos voláteis	73
Tabela 17- Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação do índice K1, produção de biogás por dejeito suíno, com base em valores de SV, quantidade de sólidos voláteis por dejetos, valor médio de K2, produção de biogás por sólidos voláteis	74

Tabela 18 - Produção de biogás e energia elétrica gerada considerando a variação combinada dos valores do índice K1, produção de biogás por dejetos suíno, e de Vdejetos - Volume de Dejetos gerado por suíno diariamente78

LISTA DE SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
BP	British Petroleum
CC	Ciclo Completo
CCI	Câmara do Comércio Internacional
CNPISA	Centro Nacional de Pesquisa de Suínos e Aves
EPP	Empresas de Pequenos Porte
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
SF	Sólidos Fixos
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Voláteis
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UPD	Unidade Produtora de Leitões Desmamados
UPL	Unidade Produtora de Leitões
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>
UT	Unidade de Terminação

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASSUVAP	Associação de Produtores de Suínos do Vale do Piranga
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB	Produto Interno Bruto
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>

SEBRAE Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SETAC Society of Environmental Toxicology and Chemistry
UNEP United Nations Environment Programme

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO	11
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 GESTÃO AMBIENTAL	15
2.2 GESTÃO AMBIENTAL EMPRESARIAL	16
2.3 GESTÃO DO CICLO DE VIDA E ECONOMIA CIRCULAR	18
2.4 SUINOCULTURA	21
2.4.1 Resíduos na Suinocultura	26
2.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA	32
2.5.1 Rendimentos na Utilização do Biodigestor	38
2.6 ENERGIA	44
2.6.1 Fontes Alternativas de Energia	44
2.6.2 Geração Distribuída	48
3 METODOLOGIA	51
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	51
3.2 ETAPAS PARA DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE SUINÍCOLA PRODUTIVA DE REFERÊNCIA	54
4.2 DETERMINAÇÃO DO CENÁRIO BASE	57
4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE – PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA GERADA	63
4.3.1 Variação de Vdejetos - Volume de Dejeito Gerado por Suíno	63
4.3.2 Variação do Índice K1 - Volume de Biogás Produzido por Dejeito	67
4.3.3 Variação de SV - Quantidade de Sólidos Voláteis por Kg de Dejeito	72
4.4 VARIAÇÃO COMBINADA - VDEJETOS E K1	78
REFERÊNCIAS	82

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente é tanto uma fonte de retirada dos recursos utilizados nas atividades humanas, quanto um destino para os resíduos provenientes de tais atividades. O constante crescimento populacional acarreta em um aumento da demanda por alimentos, intensificando assim os riscos ambientais (BARBIERI, 2011).

Uma das atividades primordiais para a produção de alimentos é a pecuária, a qual resulta em emissões de gases contribuintes para o aumento do efeito estufa, e gera resíduos prejudiciais ao solo e corpos hídricos (VRIES; BOER, 2009).

Entre as atividades pecuárias, a suinocultura chama a atenção por seu potencial poluidor pela geração de dejetos e conseqüentemente pelos impactos ambientais causados. Um dos indicadores do potencial poluidor desta atividade é o fato de que um suíno representa 3,5 pessoas em média no método de equivalente populacional (CANCELIER *et al.*, 2015). Além disso, percebe-se no cenário nacional, ao longo dos últimos anos, um aumento da produção suinícola e da escala das criações (HEIDEN *et al.*, 2006).

A gestão de ciclo de vida de produtos e serviços passa a exercer um importante papel estratégico para as empresas (SANCHES, 2000). Portanto, deve-se achar soluções que não sejam pontuais, mas sim que levem em conta a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, descrita na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a fim de minimizar e reduzir impactos referentes aos resíduos e rejeitos gerados durante este ciclo (BRASIL, 2010).

O aproveitamento da biomassa residual proveniente da cadeia de produção de carne suína vem sendo discutido como uma solução sustentável para o problema, visto que com a geração de biogás por meio da utilização de biodigestores é possível a geração de energia, e a estabilização do dejetos permitindo também que este seja utilizado como fertilizante reduzindo os impactos ambientais (MAPA, 2016).

Com a utilização de biodigestores, o agricultor é capaz de gerar sua própria energia elétrica bem como fornecer para a rede de distribuição a energia que não foi consumida. Esta alternativa caracteriza a geração distribuída, a qual leva a inovações que englobam não só a consciência socioambiental e autossustentabilidade, como também a economia financeira (ANEEL, 2016).

A produção e uso de biofertilizante produzido por biodigestores também é

uma forma de se obter economia financeira com sustentabilidade, pois é reduzida a extração de recursos do meio ambiente, o que contribui para a obtenção de um ciclo fechado de produção na atividade suinícola (MAPA, 2016).

Os criadores de suínos contam com estruturas de apoio, tais como instituições de ensino, de pesquisa, e financeiras, associações, confederações, federações, ministérios e sindicatos, além de entidades de fomento ao setor (SEBRAE, 2014).

Apesar dos benefícios demonstrados pelas pesquisas destas estruturas de apoio, os parâmetros referentes à produção de dejetos por animal e a geração de biogás produzido a partir destes dejetos são escassos e apresentam grande variação na literatura, o que pode conduzir a erros em análises da viabilização do aproveitamento de resíduo desta atividade.

Considerando este panorama, o problema de pesquisa a ser estudado neste trabalho é: Qual o impacto que a variação de parâmetros bibliográficos referentes à utilização de biodigestor na suinocultura possui sobre as projeções de produção de biogás e aproveitamento energético?

1.1 OBJETIVO

Os objetivos do trabalho são compostos pelo objetivo geral e pelos objetivos específicos, os quais estão direcionados para a busca de respostas necessárias para o aprimoramento de pesquisas e projetos voltados para o aproveitamento energético dos resíduos da atividade suinícola.

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar o impacto que a variação de parâmetros utilizados nos projetos e na determinação de viabilidade do uso de biodigestor na suinocultura possui sobre projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar os parâmetros encontrados referentes à utilização de biodigestor na suinocultura, e traçar um comparativo para análise dos mesmos;
- Caracterizar uma unidade suinícola produtiva de referência;
- Realizar uma análise da sensibilidade dos parâmetros de geração de dejetos por suíno e de biogás por dejetos, a partir da unidade de produção de referência e avaliar qual a influência deles sobre as projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica;
- Realizar uma análise da variação combinada dos parâmetros de geração de dejetos por suíno e de biogás por dejetos, para a unidade de produção de referência, e avaliar qual a influência deles sobre as projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica;

1.2 JUSTIFICATIVA

A questão socioambiental antes era considerada apenas com uma postura reativa, visando o cumprimento da legislação, e vista como custo nas empresas. Hoje o ambientalismo é estratégico e tratado como oportunidade para obter vantagem competitiva (SANCHES, 2000).

O Brasil desempenha um importante papel no cenário pecuário mundial. Em relação ao mercado de suínos, o Brasil ocupa a quarta posição no mercado mundial, perdendo apenas para a China, União Europeia e Estados Unidos (USDA, 2017). Sendo a região sul, a representante da maior parcela do abate nacional, e o estado do Paraná o segundo colocado no ranking nacional (IBGE, 2017).

O aproveitamento da biomassa para gerar energia pode funcionar como um meio facilitador para que o país atinja sustentabilidade em sua produção de suínos, apresentando baixo custo de oportunidade, geração de energia com um potencial alto, redução no potencial de poluição dos resíduos e economia de recursos energéticos (ANGONESE *et al.*, 2006, *apud* CERVI *et al.*, 2010).

Portanto, o presente estudo está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pelas Nações Unidas durante a

cúpula de 2015.

Existem 17 objetivos com 169 metas a serem alcançadas até 2030. De acordo com o sétimo objetivo, deve-se assegurar a energia acessível e limpa, promovendo o aumento da inclusão de energias renováveis na matriz energética global (ODS, 2015).

Por meio de melhorias no desempenho ambiental e na eficiência geral da atividade, este trabalho busca demonstrar a possibilidade de ganhar competitividade dentro da atividade suinícola, incluindo um sistema integrado de autogeração de energia, através da produção de biogás.

Ainda, em 17 de Abril de 2012, a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 regulamentou a micro e minigeração distribuída, a qual permite que o consumidor gere sua própria energia elétrica com o uso de fontes renováveis ou cogeração qualificada, podendo também fornecer para a rede de distribuição local o que for excedente de seu consumo (ANEEL, 2016).

Entretanto, ainda existe resistência, em propriedades que possuem menor escala, em utilizar tecnologias tanto para redução das emissões de gases de efeito estufa quanto para aproveitamento energético, devido à preocupação com a viabilidade econômica da aplicação de tais tecnologias (MAPA, 2016).

Além disso, percebe-se que para avaliar a viabilidade da implantação de um sistema que utiliza a tecnologia de biodigestores, existem dificuldades na obtenção de parâmetros na literatura referentes à geração de dejetos e à produção de biogás, para estimativas de geração de energia elétrica.

Existem vários aspectos que podem gerar variação do volume e da composição do dejetos, na mesma granja ou entre granjas suinícolas. Estas variações podem chegar a 300%. Estes aspectos vão desde a genética dos animais, peso, época do ano, tipo da produção, entre outros (KONZEN, 1983, PERDOMO, 2001, PERDOMO; OLIVEIRA e KUNZ, 2003). Desse modo, quando utilizam-se parâmetros que não condizem com a realidade a qualidade dos resultados encontrados pode ser prejudicada. Estas dificuldades já foram levantadas anteriormente por Cherubini (2015) que comentou a necessidade no Brasil de se buscar a melhoria da qualidade e confiabilidade dessas informações a fim de se obter maior precisão nos resultados das pesquisas, pois estas incertezas nos parâmetros se propagam por todas as etapas do ciclo de vida da produção suinícola.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo é estruturado em capítulos, sendo o primeiro a introdução, na qual é abordada a problemática da pesquisa, os objetivos e a justificativa do trabalho.

O segundo capítulo é constituído pelo referencial teórico que trata da gestão ambiental, de conceitos como gestão do ciclo de vida e economia circular, da suinocultura, de tecnologias de tratamento de dejetos, e da geração distribuída. Ainda neste capítulo são apresentados parâmetros e equações para se obter projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica.

O terceiro capítulo do trabalho é a metodologia, a qual apresenta a classificação e as etapas para desenvolvimento da pesquisa.

A análise dos resultados é exposta no quarto capítulo, e as considerações finais do trabalho se encontram no quinto capítulo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta a revisão de literatura com os tópicos pertinentes ao desenvolvimento do presente trabalho.

O primeiro tópico aborda a atuação da gestão ambiental nas atividades, seu histórico, importância, e a abordagem de tal tema no ambiente empresarial. O segundo tópico engloba a gestão de ciclo de vida e a economia circular, os quais são conceitos que se complementam e servem de pano de fundo para este estudo. Na sequência, os tópicos apresentam conteúdo sobre suinocultura, tecnologias de tratamento de dejetos, e questões sobre a geração de energia elétrica.

2.1 GESTÃO AMBIENTAL

A gestão ambiental atua como uma forma de planejar, dirigir, controlar, e alocar recursos, entre outras atividades, com o propósito de proteção das consequências provenientes das intervenções humanas (BARBIERI, 2011).

A gestão ambiental começou a surgir devido ao aumento do conhecimento e preocupação adquiridos, relativos tanto ao esgotamento ou tempo longo de renovação de certos recursos, quanto referentes aos impactos negativos gerados pelos resíduos. Na maioria das vezes a sua importância se dá não somente por causa do meio ambiente em si, mas por interesses envolvidos que culminam até mesmo em mudanças da legislação (BARBIERI, 2011).

Em 1990, dezesseis princípios para gestão ambiental foram elaborados pela Câmara de Comércio Internacional (CCI) e apresentados em uma carta, com o intuito de serem seguidos pelas organizações que almejam alcançar o desenvolvimento sustentável (DONAIRE, 1999).

Os princípios para gestão ambiental propostos são: a prioridade organizacional, a gestão integrada, o processo de melhoria, a educação do pessoal, a prioridade de enfoque, os produtos e serviços, a orientação ao consumidor, os equipamentos e operacionalização, a pesquisa, o enfoque preventivo, os fornecedores e subcontratados, os planos de emergência, a transferência de

tecnologia, a contribuição ao esforço comum, a transparência de atitude, e o atendimento e divulgação (DONAIRE, 1999).

Estes princípios, apesar de terem sido propostos há quase 30 anos ainda se apresentam atuais e como uma referência para a implantação de sistemas de gestão ambiental, tanto no nível privado como público.

2.2 GESTÃO AMBIENTAL EMPRESARIAL

A partir de meados de 1990 começou a ser perceptível a mudança proveniente da inserção de práticas de gestão ambiental no contexto organizacional para adequação ao pensamento ambientalmente sustentável (MARTINS *et al.*, 2015). Essa adequação se faz necessária pela influência que a sociedade, e o mercado, por meio de suas pressões e tendências de demanda, e o governo, por meio de suas medidas regulamentadoras, exercem sobre as empresas (BARBIERI, 2011).

Quanto ao engajamento das empresas nestas práticas, este pode ser dividido em diferentes estágios, que segundo Barbieri (2011) são três: controle da poluição, prevenção da poluição e abordagem estratégica.

Para cada um dos estágios referentes à gestão ambiental empresarial são utilizadas tecnologias ambientais distintas. No estágio de controle da poluição o que ocorre normalmente é a utilização dos chamados tratamentos de fim de tubo (“*endofpipe*”) que são medidas reativas e que atuam somente na saída do processo produtivo (SANCHES, 2000; BARBIERI, 2011).

Quanto às tecnologias de prevenção da poluição, estas atuam no processo produtivo em si, com a função de utilizar ao máximo os insumos na fabricação para aumento da eficiência, buscando a não geração, redução, reutilização, reciclagem, e por fim, caso nenhuma das ações anteriores seja possível, o tratamento adequado dos resíduos (SANCHES, 2000; BARBIERI, 2011).

No terceiro estágio, as empresas adotam uma postura proativa em relação ao controle ambiental, integrando-o em suas gestões e tomadas de decisões de forma estratégica. Estas questões são cada vez mais fatores que auxiliam na competitividade das empresas (HART, 1995; PORTER; VAN DER LINDE, 1995;

DONAIRE, 1999; SANCHES, 2000; BARBIERI, 2011).

As tecnologias no estágio de abordagem estratégica são conhecidas como tecnologias de produto e processo, por aplicarem continuamente e de forma preventiva estratégias ambientais (SANCHES, 2000). No processo, estas estratégias são atreladas a escolha e preservação dos insumos e ao controle dos resíduos gerados. Enquanto no produto, as estratégias devem se relacionar com a diminuição dos impactos que o produto apresentará durante o seu ciclo de vida (SANCHES, 2000).

Entre as vantagens decorrentes de se praticar a gestão ambiental na empresa estão as prováveis reduções na quantia de resíduos destinados ao descarte no meio ambiente, e a conseqüente diminuição do impacto dos produtos durante seu ciclo de vida e de possíveis penalidades (DONAIRE, 1999).

Ainda no contexto interno da empresa, pode-se alcançar melhorias em questões de saúde e relacionamento dos empregados dentro da empresa, maior comprometimento do pessoal, ganhos como aumentos na eficiência produtiva devido ao uso racional dos insumos, e também lucro pelo desenvolvimento de novos produtos e tecnologias no contexto ambiental e de produção mais limpa (DONAIRE, 1999).

Enquanto que no contexto externo, além de melhoria em questões de segurança pública, há uma disseminação positiva da imagem da empresa, o que reforça o relacionamento com o governo, comunidade, e grupos ambientalistas, bem como a facilitação de entrada no mercado externo (PORTER; VAN DER LINDE, 1995; DONAIRE, 1999).

Para se obter tais benefícios é necessário que a gestão seja realizada de maneira adequada conforme o porte da empresa e suas especificidades (MARTINS *et al.*, 2015), e de modo que a empresa passe a entendê-la como uma fração do objetivo da empresa, e não como custos sem qualquer vantagem competitiva, a fim de se obter comprometimento total (SANCHES, 2000).

No caso da suinocultura, tecnologias e processos de gestão ambiental são indispensáveis, visto que as propriedades suinícolas são fiscalizadas tanto por órgãos públicos quanto pelo mercado consumidor, o qual está cada vez mais consciente dos impactos devido a geração de resíduos provenientes da atividade (SEBRAE, 2016).

2.3 GESTÃO DO CICLO DE VIDA E ECONOMIA CIRCULAR

O ciclo de vida de um produto pode ser explicado como sendo o ciclo composto pelas etapas do processo produtivo e da comercialização de bens ou serviços. O ciclo se inicia no “berço” que se refere a origem dos recursos naturais utilizados para extração da matéria prima, passando pelo beneficiamento, transporte, estocagem e outras etapas intermediárias, até chegar ao “túmulo”, ou seja, até a disposição final dos resíduos resultantes do consumo (SETAC; UNEP, 2007).

Este conceito pode ser melhor entendido por meio da Figura 1, que mostra os modos pelos quais pode existir reaproveitamento como forma de destinação, dentro do ciclo de vida do produto: reuso, reciclagem e recuperação (SETAC; UNEP, 2007).

Figura 1 – Ciclo de Vida de um produto



Fonte: Adaptado de SETAC; UNEP (2007)

Em uma cadeia de suprimentos que inclua práticas de gestão ambiental, a gestão do ciclo de vida de produto é necessariamente considerada. Porém, há dificuldades encontradas na gestão e controle do ciclo de vida quando se trata de cadeias de suprimentos longas, as quais possuem muitas partes distantes envolvidas nos estágios mencionados (BARBIERI, 2011).

Tanto a avaliação e seleção de fornecedores quanto à auditoria destes fornecedores são práticas para a gestão do ciclo de vida. Além delas, outros instrumentos existem com este propósito: logística reversa, auditoria de desperdícios, rótulos ambientais, Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), entre outros (BARBIERI, 2011).

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) se propõe a reduzir a quantidade de resíduos sólidos gerados e de praticar mais a reintegração dos produtos ao ciclo de vida. De acordo com o Artigo 9 da política, se prioriza na seguinte ordem: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos, e por último, a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Para isto, utiliza-se de conceitos como a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a operação reversa e acordos setoriais (BRASIL, 2010).

Sendo assim, uma forma de conseguir estar em sintonia com a legislação brasileira é adotando o conceito de economia circular, o qual pode ser visto como complementar a gestão do ciclo de vida.

Sabe-se que muitos processos que ocorrem na natureza têm caráter circular, como por exemplo ciclo do carbono (MASULLO, 2017).

Conclui-se, então, que a economia presente na natureza é um sistema circular. Processos cíclicos depositam matéria e energia no mesmo ponto de onde foram retirados para que sejam utilizados novamente (MASULLO, 2017).

No conceito de economia circular, não é uma questão apenas de retirar matéria de um lugar para acumular em outro, mas sim aumentar a eficiência de sistemas, organizar melhor os insumos e aumentar qualidade nos processos. Os esforços estão se movendo nesta direção (KAUFFMAN, 2008 *apud* MASULLO, 2017).

De acordo com Winans, Kendall e Deng (2016), não existe um consenso sobre onde o conceito de economia circular começou de fato, no entanto ele começou a se popularizar na China, nos anos de 1990 com o intuito de balancear o crescimento econômico que o país vivenciava com as limitações de suas fontes naturais. Com o passar do tempo, o conceito evoluiu e passou a ser utilizado por muitas organizações ao redor do mundo.

Segundo Jawahir e Bradley (2016), os princípios de economia circular são sustentados pelos conceitos dos 3Rs (reduzir, reusar e reciclar) e dos 6Rs (reusar, reciclar, redesenhar, remanufaturar, reduzir e recuperar).

O conceito de economia circular vem para acabar com a visão de economia linear existente em grande parte dos modelos de negócio que se conhece, que se sustenta em extrair, fabricar e desfazer. O modelo de economia linear representa um desafio cada vez maior para um desenvolvimento baseado em crescimento econômico, proteção ambiental e bem-estar da sociedade (JAWAHIR; BRADLEY, 2016).

Devido ao fato de o planeta possuir fontes finitas de recursos naturais, é necessário que existam alternativas para que o desenvolvimento econômico seja atendido ao mesmo tempo que as fontes não se esgotem. A constante procura por substâncias sintéticas que substituam as naturais gera um ciclo sem fim de produtos que continuam sendo depositados no solo ao final de suas vidas (JAWAHIR; BRADLEY, 2016).

O ponto principal que o conceito de economia circular expõe é baseado em reduzir a utilização de fontes que serão inutilizadas após seu uso por meio de um design eficiente e implementação de processos que aumentem a eficiência com a utilização de um fluxo circular de material envolvendo os 6Rs (JAWAHIR; BRADLEY, 2016).

O escopo da economia circular pode ser utilizado em diversas áreas, como por exemplo na cadeia de valor, fluxo de materiais e produtos de indústrias como as de plástico, metal, produtos agrícolas, madeira e papel, entre outros (WINANS; KENDALL; DENG, 2016).

Muitas políticas nas maiores economias do mundo têm se baseado na economia circular, bem como seus investimentos em novas tecnologias, como por exemplo na China, Japão, Alemanha e Reino Unido (WINANS; KENDALL; DENG, 2016).

Portanto, é necessário que se acabe com o pensamento de linearidade da economia, dando lugar ao pensamento de fechar os ciclos reutilizando os resíduos provenientes das atividades humanas (MASULLO, 2017).

O estudo de Bezerra (2005) demonstra como o produtor rural pode tornar a propriedade mais eficiente, do ponto de vista econômico e ambiental, ao integrar

suas atividades de forma a aproveitar ao máximo a matéria prima. Desta forma, avançando claramente para um sistema produtivo em circuito fechado e na direção dos preceitos da economia circular.

O aproveitamento da biomassa para geração de energia, por meio de biodigestores, é vinculado ao conceito de economia circular já que utiliza a lógica de fechar o ciclo, reaproveitando os resíduos da atividade para inserir a energia no próprio sistema e evitando a entrada de energia de fontes externas.

2.4 SUINOCULTURA

O crescimento da população desencadeia no aumento da demanda por alimentos, o que pode intensificar a ameaça ao meio ambiente (CHERUBINI *et al.*, 2014). O setor pecuário, responsável por 18% das emissões de dióxido de carbono ao redor do mundo, tem um papel relevante nesta ameaça (VRIES; BOER, 2009).

O setor depende de alguns recursos muitas vezes escassos, como por exemplo terra, água e energia, impactando diretamente na qualidade do ar, água e solo (VRIES; BOER, 2009).

A emissão de dióxido de carbono pode ser explicada por diversos fatores, como por exemplo desmatamento, emissão de metano proveniente dos dejetos sólidos gerados pelos animais, fertilização durante a cultura, entre outros (VRIES; BOER, 2009).

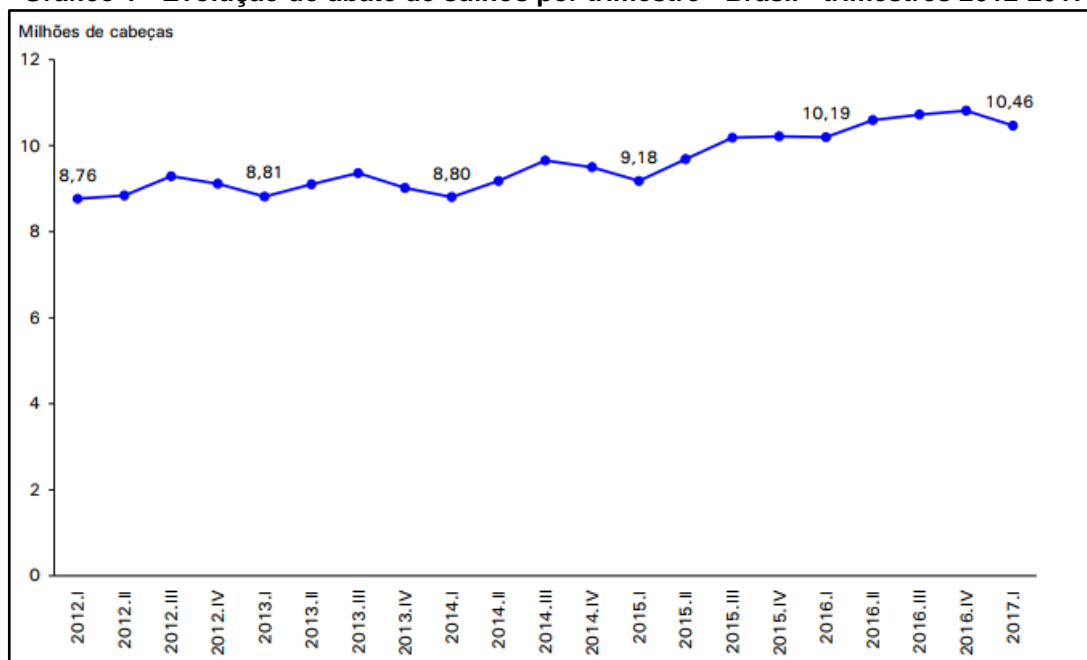
A atividade suinícola é antiga e tem um papel importante no cenário nacional, representando um fator de desenvolvimento econômico e social. Pode ser vista também como uma fonte geradora de empregos, onde, no Brasil, aproximadamente 30 mil estabelecimentos exercem a atividade de forma intensiva e dentro deles 81,7% são representados por fazendas de até 100 hectares (PINTO; *et al.*, 2014). Os dados apresentados incluem somente a etapa de produção de suínos, não considerando outras etapas da cadeia como o transporte, beneficiamento e comercialização da carne.

A suinocultura tem uma grande parcela dos impactos ambientais devido a uma elevada geração de dejetos sólidos gerados pelos porcos, bem como sua escala de consumo de grãos para a alimentação dos animais (CHERUBINI; *et al.*,

2014).

Quanto à evolução do abate de suínos no Brasil, de forma geral, pode-se observar o Gráfico 1, que mostra essa evolução por trimestre entre 2012 e 2017.

Gráfico 1 - Evolução do abate de suínos por trimestre - Brasil - trimestres 2012-2017



Fonte: IBGE(2017)

Foram 10,81 milhões de cabeças de suínos abatidas no quarto trimestre de 2016, que representa no período o máximo valor alcançado (IBGE, 2017).

Observa-se que houve um aumento de 5,8% no abatimento de cabeças de suínos quando se compara o quarto trimestre do ano de 2016 com o mesmo trimestre do ano de 2015 no Brasil (IBGE, 2017).

Além disso, percebe-se que apesar da crise no país no período apresentado, houve crescimento na produção de suínos quando comparados os anos de 2012 e 2016.

A Tabela 1 apresenta a quantidade em cabeças de suínos abatidos e a variação existente entre os primeiros trimestres de 2016 e 2017, no Brasil e nas três Unidades Federativas do Sul.

É possível notar que o primeiro trimestre de 2017, apesar de apresentar queda em relação ao trimestre anterior, ainda mostra um aumento de 2,6% se comparado ao mesmo período de 2016, o que pode ser observado por meio do Gráfico 1 - Evolução do abate de suínos por trimestre - Brasil - trimestres 2012-2017, e da Tabela 1 - Quantidade em cabeças de suínos abatidos e a variação existente

entre os primeiros trimestres de 2016 e 2017, no Brasil e nas três Unidades Federativas do Sul.

Tabela 1- Quantidade em cabeças de suínos abatidos e a variação existente entre os primeiros trimestres de 2016 e 2017, no Brasil e nas três Unidades Federativas do Sul

	1º Trimestre de 2016	1º Trimestre de 2017	Varição (%)
Brasil	10.194.791	10.464.430	2,6
Santa Catarina	2.576.807	2.805.366	8,9
Paraná	2.141.084	2.179.487	1,8
Rio Grande do Sul	2.095.729	2.015.304	-3,8

Fonte: Adaptado de IBGE (2017)

Também segundo dados do IBGE (2017), a Região Sul representa a maior parcela do abate nacional, contando com 66,9% do total do país. E o estado de Santa Catarina é o líder no ranking nacional, seguido pelo estado do Paraná, que apresentou um crescimento de 14,8% no abatimento de suínos no período de 2012 a 2017.

Para traçar o perfil da suinocultura industrial existem três tipos de produção que podem ser adotadas pelos suinocultores, os quais se diferem pelas fases que englobam e pela categoria dos animais que o compõe. São detalhados os sistemas de produção de suínos no Quadro 1.

Quadro 1 – Sistemas de Produção de Suínos

Sistema 1 - Produção de Leitões (UPL) - tem matrizes e a fase termina quando os leitões atingem o tamanho ideal para venda (25 kg).	
Fase	Categoria
Cobertura/reprodução	Reprodutor Fêmea para reposição Matriz em gestação
Maternidade	Matriz em lactação
Creche	Leitão até 25 kg
Sistema 2 - Ciclo Completo - tem matrizes que produzem os leitões que permanecem na granja até atingirem o peso de serem levados para o abate.	
Fase	Categoria
Cobertura/reprodução	Reprodutor Fêmea para reposição Matriz em gestação
Maternidade	Matriz em lactação
Creche	Leitão até 25 kg
Crescimento e Terminação	Suínos com peso acima de 25 kg
Sistema 3 - Terminação - é comprado o leitão e ele permanece na propriedade até atingir o peso ideal para ser levado ao abate.	
Fase	Categoria
Crescimento e terminação	Suínos com peso acima de 25 kg

Fonte: Adaptado de Instituto Ambiental do Paraná [20-?]

A Unidade Produtora de Leitões (UPL) inclui as fases de reprodução, maternidade e creche, e o produto final desse tipo de produção são os leitões desmamados ou para terminação, como pode ser observado no Quadro 1.

O sistema de produção de ciclo completo é composto por todas as etapas da produção e, portanto, tem como resultado o suíno terminado, pronto para ser levado ao abate. E o terceiro sistema trata das Unidades de Terminação (UT), nas quais ocorrem as fases de crescimento e terminação dos suínos. Este sistema de produção também é conhecido como “engorda”, pois nele os suínos atingem o peso de mercado para serem direcionados ao abate.

Quanto a duração destas fases, pode-se dizer que a cobertura/reprodução dura em média os 114 dias de gestação, enquanto a fase de maternidade se divide em 21 dias de lactação e 5 dias de desmame.

Na fase da creche são aproximadamente 40 dias, e por fim, na fase de terminação, os leitões chegam com 70 dias e saem aos 160 dias de vida, prontos para o abate.

No Brasil, e principalmente na região Sul, tem sido comum uma especialização nas etapas do processo produtivo suinícola desmembrando assim o

ciclo completo em unidades produtoras de leitões (UPL) e unidades de crescimento e terminação (UT) (SOUZA *et al.*, 2013a).

Sabe-se também, quanto ao perfil industrial da produção suinícola no Brasil, e principalmente no Sul, que nos últimos dez anos houve um aumento de escala da produção nas unidades produtoras, reduzindo assim a quantidade de propriedades suinícolas existentes, enquanto houve um crescimento da produção por propriedade (HEIDEN *et al.*, 2006).

Segundo a Associação Brasileira dos Criadores de Suíno (2017), estima-se que na região sul estão 96% das granjas de terminação do Brasil. Na Tabela 2 é mostrada a representatividade das três unidades federativas do sul na quantidade de granjas de carne suína existentes em 2015.

Tabela 2 - Representatividade, em quantidade e porcentagem, das granjas de Carne Suína de SC, PR e RS em 2015

	Brasil	Santa Catarina	Paraná	Rio Grande do Sul
Número de Granjas UPL, UPD, ou CC	3.101	1.022 (33%)	591 (19%)	635 (20%)
Número de Crechário	699	417 (60%)	83 (12%)	166 (24%)
Número de Unidades de Terminação	13.991	5.736 (41%)	2.560 (18%)	5.077 (36%)

Fonte: Adaptado de Associação Brasileira Dos Criadores De Suíno (2017)

A existência das unidades de terminação se justifica pelo fato de que alguns suinocultores preferem comprar leitões de outros criadores para engordá-los e vendê-los para o abate. Isto porque, em unidades de terminação há menor necessidade de investimentos, tecnologia e mão de obra especializada do que em produção de ciclo completo. Além disso, o retorno ocorre em menor tempo. Apesar dessas vantagens em unidades de terminação é preciso estar atento aos riscos provenientes do fornecimento dos leitões (SOUZA *et al.*, 2013a) (SOS SUÍNOS, 2017).

Em 2015, no Brasil, aproximadamente 100% das granjas de terminação se caracterizavam como Empresas de Pequeno Porte (EPPs) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNO, 2017).

Em um levantamento de tecnologias de tratamento de dejetos para suinocultores de pequeno porte, divulgado em 2016, pelo Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA) foi considerado como Unidades de Terminação de Pequeno porte aquelas com até 500 suínos.

Ainda de acordo com o mesmo levantamento, cada suíno em uma unidade de terminação de pequeno porte consome aproximadamente 2kWh de energia por mês (MAPA, 2016).

2.4.1 Resíduos na Suinocultura

A medida em que aumenta a suinocultura no país, aumenta a quantidade de dejetos gerados pela atividade, o que pode ser visto como um assunto de cunho sanitário, representando danos à saúde da população em decorrência dos agentes patogênicos provenientes destes resíduos (CERVI *et al.*, 2010).

Em geral, a atividade suinícola é intensamente realizada em pequenas áreas, gerando altas concentrações de efluentes que contêm matéria orgânica, nutrientes e metais com alto potencial poluente (AVACI *et al.*, 2013).

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, estabelece que os resíduos suínos são classificados em relação à sua origem (agrossilvopastoris) e em relação à sua periculosidade (não perigoso). De acordo com a NBR 10004:2004, os dejetos desta atividade apresentam pêlos, vísceras, sangue, restos de carne, gordura e esterco e pertencem à Classe II A - não inerte.

Ao se comparar o potencial poluente da atividade suinícola com a de outras espécies sabe-se que a primeira é superior em relação aos dejetos gerados. Entretanto, não apenas o potencial poluente dos dejetos deve ser considerado, mas também o desconforto gerado para a população que se encontra próxima à atividade pelos maus odores e insetos vinculados a esta atividade (CANCELIER *et al.*, 2015).

Até os anos de 1970, não se considerava os resíduos suínos como um fator de risco populacional. Eles eram utilizados na adubação no próprio local da atividade, em propriedades vizinhas, ou então o solo era capaz de absorver as quantidades geradas devido a sua baixa escala nas criações e, portanto, baixa concentração de dejetos em uma mesma área (OLIVEIRA, 1993).

Outro problema, levantado por Assis e Muratori (2007) é a contaminação dos corpos hídricos quando atingidos (direta ou indiretamente) pelos poluentes

presentes nos dejetos. Neste caso o efeito sobre estes recursos pode variar de acordo com uma série de fatores.

Entre estes fatores, podem ser citados o discernimento do criador quanto a destinação dos dejetos, a forma com a qual os recursos são aplicados, as dimensões da propriedade, órgãos responsáveis dando a devida assistência, e a própria característica do meio ambiente receptor, ressaltando-se os casos de criação de animais confinados (ASSIS e MURATORI, 2007).

Em 2013, Steinmetz *et al.* já defendiam a ideia de que as alternativas deveriam ir além de estocar os efluentes ou utilizá-los na agricultura, principalmente quando se trata de áreas com alta densidade de rebanho. Atualmente, segundo dados do IBGE, 2017, com o número de abates estimado em 10.464.430 cabeças no primeiro trimestre de 2017, a preocupação torna-se ainda mais válida.

Além do estudo de Steinmetz *et al.* (2013), observa-se em outros estudos internacionais e nacionais publicados, interesse em buscar soluções sistêmicas e sustentáveis para os problemas dos resíduos produzidos na atividade suinícola, como por exemplo nos trabalhos de Neshat *et al.* (2017), Meyer, Ehimen e Holm-nielsen (2018), Huang *et al.* (2017), Riano e García-González (2015), Cherubini *et al.* (2014), Cancelier *et al.* (2015), Avaci *et al.* (2013), Souza *et al.* (2013b), Cervi *et al.* (2010), Lindemeyer (2008), Kunz; Higarashi; Oliveira (2005), Belli Filho *et al.* (2001).

Nestes trabalhos são abordados aspectos referentes à emissão de gases de efeito estufa provenientes da atividade, e discutidas possíveis tecnologias de tratamento dos dejetos, tanto para redução das emissões quanto para o aproveitamento da biomassa por meio da produção de biogás.

Os autores podem ser agrupados com diferentes focos em seus objetivos, sendo possível dividi-los em dois grupos. Avaci *et al.* (2013), Souza *et al.* (2013b) e Kunz; Higarashi; Oliveira (2005) fundamentam seus estudos em análises econômicas com o intuito de concluir a viabilidade financeira da implementação de um sistema de biodigestores para produtores rurais.

Por outro lado, Neshat *et al.* (2017), Meyer, Ehimen e Holm-nielsen (2018), Huang *et al.* (2017), Riano e García-González (2015), Cherubini *et al.* (2014), Cancelier *et al.* (2015), Cervi *et al.* (2010), Lindemeyer (2008), Belli Filho *et al.* (2001) podem ser agrupados como um grupo que se preocupa em análises de cunho

ambiental, como emissão de gases efeito estufa sobre o meio ambiente e potencial energético do sistema de biodigestores.

Estes autores, ao analisar as vantagens financeiras e ambientais da produção de eletricidade a partir de biogás, chegam a resultados que reforçam tanto a viabilidade da atividade quando analisada de forma integrada em uma propriedade, quanto a necessidade de desenvolvimento das tecnologias para melhor aproveitamento do biogás como fonte alternativa de energia.

Os resíduos gerados pelos animais podem variar pelas fases de vida do animal em questão e afetar os resultados levantados, por exemplo, pelos autores dos estudos mencionados.

A cada fase da vida dos animais, existe uma diferente produção de dejetos, qualitativa e quantitativamente, conforme os fatores peso, sexo, raça e a dieta (tipo ração fornecida) dos animais (PINTO *et al.*, 2014). Existem leitões na creche, bem como porcas em gestação, em lactação, cachaços e animais da fase de terminação que são destinados para o abatedouro. Esta variabilidade pode ser percebida na Tabela 3 onde estão compilados parâmetros da quantidade de dejetos gerados por suíno, na fase de Terminação, de acordo com diferentes autores.

Pode-se notar uma variação de aproximadamente 300% entre o menor e o maior valor, provenientes de locais e épocas diferentes, expostos na Tabela 3. Tal constatação coincide com as informações mencionadas anteriormente, levantadas nos estudos de Konzen (1983), Perdomo (2001), Perdomo; Oliveira e Kunz (2003).

Tabela 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores

Autor	Oliveira	Dartora et al.	Perdomo et al.	Midwest Plan Service	Menezes et al.	Junges et al.	Fundação do Meio Ambiente
Quantidade de Dejetos (litros/animal/dia)	7	9	7,5	6,1	12 a 15	7	4,5
Ano de Publicação	1993	1998	1999	1985	2003	2009	2014
Local de Obtenção dos Parâmetros	Concórdia SC	Concórdia SC	Concórdia SC	Estados Unidos Iowa	PR	Toledo PR	SC

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993); Takitane (2001); Menezes *et al.* (2003); Junges *et al.* (2009); Fundação do Meio Ambiente (2014)

Os dados de Oliveira (1993), Dartora *et al.* (1998a) e Perdomo *et al.* (1999) foram obtidos a partir de estudos realizados em 1993 com o apoio da EMBRAPA e CNPSA em Concórdia - Santa Catarina. Retirados respectivamente dos seguintes documentos: Manual de Manejo e utilização dos dejetos de suínos, Boletim Informativo - Manejo de Dejetos de Suínos, e Instrução Técnica para o Suinocultor.

Em seu estudo, Takitane (2001) se baseia nos dados de Muehling (1995), que por sua vez cita o dado apresentado por Midwest Plan Service (1985), de 6,1 litros de dejetos gerados diariamente por suíno quando estes possuem peso médio de 91 Kg e estão na fase de terminação. Portanto, trata-se de uma pesquisa publicada pela Universidade Estadual de Iowa - Estados Unidos em meados da década de 1980.

Os dados de Menezes *et al.* (2003) são de leitões na fase de terminação com peso entre 25 e 110 kg, e foram retirados de um estudo de aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto realizado por Seidel *et al.* no estado do Paraná (2010).

Enquanto isso, em uma análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no município de Toledo - Paraná, Junges *et al.* (2009), utilizando-se dos estudos de Damovich *et al.* (2007) também no município de Toledo, afirma que suínos na categoria de 25 a 100 Kg gerando 7 litros de dejetos diariamente.

Por fim, na instrução normativa nº 11 de 2014, a Fundação do Meio Ambiente, órgão ambiental do Estado de Santa Catarina, estima que o volume diário de dejetos líquidos, em unidades de terminação para aquele estado é de 4,5 litros de dejetos por cabeça. Sendo que a massa dos leitões utilizados na estimativa está entre 23 e 120 Kg.

Observa-se, portanto que os parâmetros muitas vezes são secundários e nem sempre originados em condições análogas ao contexto geográfico e temporal nos diferentes estudos.

Nota-se também que os parâmetros foram obtidos, em sua maioria, na região sul do Brasil, e que possuem até 20 anos de diferença entre suas datas de publicação. O mais recente dos parâmetros encontrados é da Fundação do Meio Ambiente (2014), sendo que os outros são todos de no mínimo 8 anos atrás.

Além da escassez de parâmetros atuais, percebe-se que existe uma discrepância entre os valores apresentados. Há diferença de até 11,5 litros entre o maior e menor valor encontrado nas pesquisas realizadas.

Quando retirada a água dos dejetos suínos, pode-se determinar o teor de sólidos totais (ST), o qual engloba os sólidos fixos (SF) e voláteis (SV) presentes. O teor de Sólidos Voláteis é a parcela dos Sólidos totais transformados em gases voláteis quando aquecidos (SOUZA *et al.*, 2009).

De acordo com Scherer *et al.* (1996) e Oliveira (2008), para os dejetos suínos é estimado que a quantidade de sólidos totais presentes seja de 3 a 8% do total dos dejetos gerados. E também para estes autores, a estimativa para a quantidade de sólidos voláteis presentes está entre 70 e 75% dos sólidos totais.

Estes sólidos voláteis estão diretamente relacionados à produção de biogás, visto que são o substrato para as bactérias metanogênicas, e portanto, quanto maior sua presença nos dejetos, maior a quantidade de biogás produzido (SCHERER *et al.*, 1996).

Os valores obtidos na literatura, por meio de estudos realizados por diferentes autores e referentes a quantidade de sólidos voláteis por dejetos de suínos na fase de terminação foram compilados na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores

Autor	Ano de Publicação	Local de Obtenção dos Parâmetros	SV por dejetos de suínos em fase de terminação (Kg de SV/Kg de Dejetos)
Merkel	1981	Estados Unidos – Connecticut	0,0035 - 0,008
Konzen	1983	Estados Unidos	0,068
Moffit	1999	Concórdia – SC	0,0054
Souza et al.	2009	Vale do Piranga – MG	0,054

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2009)

Os dados de Merkel (1981), Konzen (1983), e Moffit (1999) apresentados na Tabela 4 foram retirados da pesquisa de Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação elaborada por Souza *et al.* (2009).

Merkel (1981), citado por Souza *et al.* (2009), afirma existir 3,5 a 8,0 Kg de Sólidos Voláteis a cada 1.000 Kg de dejetos gerados diariamente. Estes dados foram retirados do livro *Managing Livestock Wastes* escrito por Merkel e publicado em Connecticut, em 1981, nos Estados Unidos.

Enquanto isso, a cada 1000 Kg de dejetos gerados diariamente, Moffit (1999) afirma existir 5,4 Kg de Sólidos Voláteis. Valor este obtido de um Manual de Engenharia Agrícola publicado, em 1999, pela Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas nos Estados Unidos. Sabe-se que estes valores se aplicam para suínos com massa entre 18 e 100 Kg e alimentados com ração à base de milho.

Ainda no estudo de Moffit (1999) é salientado que a quantidade e os componentes da ração afetam diretamente a quantidade de sólidos voláteis presentes no dejetos dos suínos. Segundo ele, em um caso no qual a ração é composta por 50% de cevada e 50% de milho há um acréscimo de 43% na quantidade de sólidos voláteis presentes no dejetos dos suínos quando comparado aos dejetos de suínos alimentados com ração composta somente por milho.

Quanto aos dados de Konzen (1983) utilizados por Souza *et al.* (2009), são estimados 6,8% de sólidos voláteis presentes nos dejetos. Sabe-se que este valor foi retirado de um documento de 1993 da Embrapa de Concórdia - SC, e considera suínos com massa entre 15 e 100 Kg.

Por fim, na Tabela 4 - Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores, é possível observar o valor médio encontrado no estudo aplicado por Souza *et al.* (2009) em 12 granjas selecionadas com o apoio da Associação de Produtores de Suínos do Vale do Piranga (ASSUVAP), na região do Vale do Piranga, Zona da Mata do Estado de Minas Gerais. A coleta das amostras para o estudo foi realizada somente em unidades de terminação nas quais os suínos apresentam aproximadamente 1.00Kg.

Percebe-se que há escassez de parâmetros na literatura referentes a quantidade de sólidos voláteis nos dejetos de suínos na fase de terminação. Sendo que o dado mais recente encontrado e exposto na Tabela 4 é de 2009.

Além disso, nota-se que o dado utilizado por Konzen (1983) é aproximadamente 20% superior ao valor encontrado por Souza *et al.* (2009), enquanto o dado utilizado por Moffitt é 1000% menor que o valor encontrado por Souza *et al.* (2009). Isso sem citar a variabilidade dos valores apresentados por Merkel (1981). Ou seja, Souza *et al.* (2009) cita dados que não condizem com o resultado apresentado em seu estudo.

Dessa forma, quando as condições da pesquisa não são especificadas de maneira detalhada, torna-se difícil a utilização de tais parâmetros para projeções de produção de biogás e conseqüentemente de geração de energia elétrica e sua viabilidade econômica, já que estes parâmetros são utilizados nos cálculos.

2.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE DEJETOS NA SUINOCULTURA

Como já mencionado neste trabalho, a suinocultura pode ser considerada como uma grande fonte poluidora para o meio ambiente, uma vez que gera resíduos sólidos provenientes dos animais (CHERUBINI *et al.*, 2014).

Existem algumas tecnologias que auxiliam no tratamento dos resíduos provenientes da atividade suinícola. De acordo com Belli Filho *et al.* (2001), no ano de publicação de seu artigo, algumas tecnologias eram consideradas.

Belli Filho *et al.* (2001) estudaram quatro diferentes tecnologias disponíveis naquela época. A primeira estudada foi a produção de suínos sobre camas biológicas para animais confinados. A segunda foi o tratamento de dejetos de suínos

em lagoas, seguido do tratamento de dejetos suínos com reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo, e por fim o sistema de armazenamento de dejetos de suínos.

No entanto, houve mudança significativa no cenário da atividade de 2000 para os dias atuais. De acordo com Cherubini *et al.*, 2014, citando Higarashi *et al.*, 2013, e Kunz; Higarashi; Oliveira, 2005, no cenário brasileiro, 80% das propriedades que atuam na atividade da suinocultura utilizam um sistema de gestão de estrume, enquanto apenas 20% utilizam biodigestor.

A inserção de biodigestor como parte do tratamento de resíduos tem se intensificado. De acordo com Vivan *et al.* (2010), a alternativa tem se mostrado viável devido à redução de seus custos na implementação e na manutenção.

Porém, o mais comum no Brasil ainda é a armazenagem e tratamento dos dejetos em esterqueiras e em lagoas de decantação, para posterior aproveitamento na lavoura como fertilizante. Isto por conta dos menores custos de implantação e manutenção, e pela facilidade que este tipo de manejo oferece (STEINMETZ *et al.*, 2013) (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Os efluentes da atividade suinícola, se manejados inadequadamente, acabam prejudicando os solos e as águas devido ao acúmulo de nutrientes neles contidos (STEINMETZ *et al.*, 2013). E, quando o material orgânico proveniente da criação dos animais, como fezes, urina, ração, entre outros, é degradado biologicamente são produzidos gases que podem afetar a qualidade do ar, a performance dos suínos e até mesmo a saúde da população (ANGONESE *et al.*, 2007).

Além dos malefícios citados acima, de acordo com os resultados de estudo realizado por Cherubini *et al.*, 2014, o perfil da suinocultura brasileira é capaz de gerar 3.503,29 kg de CO₂ equivalente a cada 1.000 kg de carcaça de suíno, gerando assim impacto em mudanças climáticas globais.

É possível observar algumas vantagens e desvantagens do processo de tratamento de dejetos suínos que ocorre em esterqueiras e biodigestores, listadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Vantagens e Desvantagens de Esterqueiras e Biodigestores

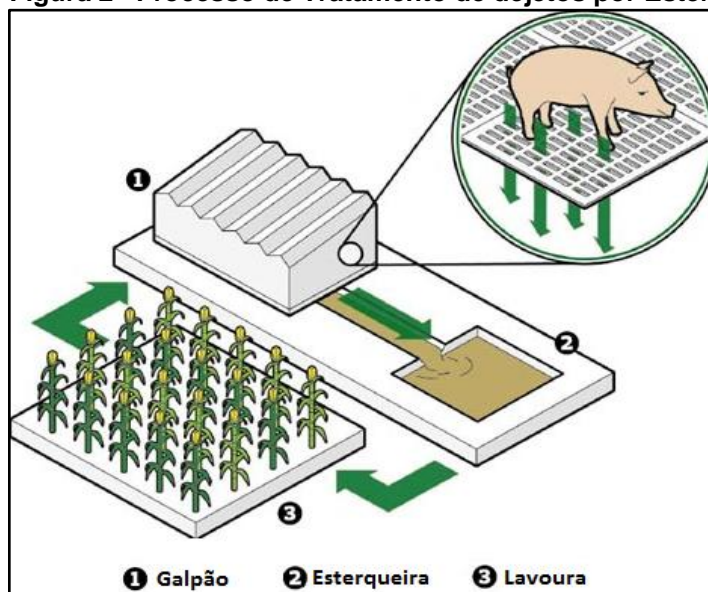
Processo de Tratamento	Vantagens	Desvantagens
Esterqueira	Facilidade operacional e de construção; Baixo custo de instalação e melhor aproveitamento de dejetos como fertilizante;	Alto custo de armazenagem, transporte e distribuição; Só deve funcionar em função do aproveitamento de dejetos; Não ocorre separação de partes e dejetos fica mais concentrado, exigindo maiores áreas para sua destinação como fertilizante;
Biodigestor	Fornecimento de biogás e biofertilizante; Aumenta a valorização dos dejetos para uso agrônomo, por meio da fertirrigação; Redução do poder poluente e do nível de patógenos; Menor tempo de retenção hidráulica e de área em comparação com outros sistemas anaeróbios;	Processo de fermentação anaeróbica lento resultando em longo tempo de retenção dos sólidos; Necessidade de homogeneização dos dejetos para garantir a eficiência do sistema;

Fonte: Adaptado de Cardoso, Oyamada, Silva (2015)

As esterqueiras, também chamadas chorumeiras, são tanques que funcionam como um depósito para os dejetos do sistema de produção de suínos. A captação dos dejetos ocorre diariamente e estes sofrem o processo de fermentação biológica até serem retirados como fertilizantes e direcionados para lavouras, pastagens e pomares (DARTORA *et al.*, 1998b).

Para que este processo de tratamento seja concluído, a permanência mínima dos dejetos na esterqueira é de 120 dias (DARTORA *et al.*, 1998b). A Figura 2 ilustra este processo.

Figura 2– Processo de Tratamento de dejetos por Esterqueira



Fonte: Nascimento (2015)

Na Figura 2, pode-se observar as três etapas que compõem o processo de tratamento por esterqueira. No galpão, local em que os suínos ficam acomodados, os dejetos são instantaneamente escoados para canais ligados às esterqueiras, e após o processo de fermentação biológica, o fertilizante resultante é destinado à lavoura (NASCIMENTO, 2015).

Deve-se tomar certos cuidados neste tipo de manejo quanto ao extravasamento das esterqueiras ou a aplicação excessiva no solo, por exemplo. Isto porque se não for realizado da forma correta, o manejo pode prejudicar o meio ambiente, contaminando o ar, solo, rios, ou lençóis subterrâneos (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Outro resultado deste processo, mais comum no verão devido ao aumento da temperatura, pode ser a geração de odores devido à liberação de gases da esterqueira (KUNZ; HIGARASHI; OLIVEIRA, 2005).

Os biodigestores são compostos de um recipiente, chamado tanque que abriga e possibilita a digestão da biomassa e um gasômetro, a qual se dá o nome de campânula, onde o biogás é armazenado. Não existe a presença de oxigênio e luz dentro do biodigestor para que as bactérias possam realizar o processo, que é composto por 3 etapas: sólida, líquida e gasosa (FARRET, 1999 *apud* DOTTO; WOLFF, 2012).

O processo de digestão anaeróbia é encontrado na natureza, no entanto pode ser reproduzido e controlado com o auxílio de biodigestores. A digestão anaeróbia pode ser explicada como um processo natural em que as bactérias metanogênicas degradam a matéria orgânica de entrada e como produto final do processo tem-se compostos como metano, dióxido de carbono e água (AVACI *et al.*, 2013) (DOTTO; WOLFF, 2012).

De acordo com Palhares, até 2007, existiam três fases em que os biodigestores estiveram em voga no Brasil. O primeiro deles foi impulsionado pelo segundo choque de preços do petróleo ocorrido em 1979, fazendo com que o governo tomasse medidas para incentivar o uso de biodigestores.

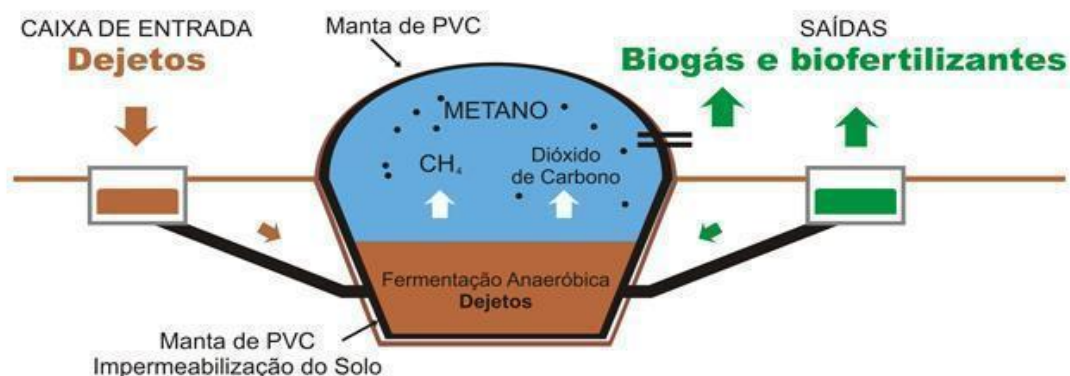
A segunda fase se dá na crise de fornecimento de energia elétrica ocorrido no Brasil recentemente, mais conhecida como “apagão”. No entanto, assim que os reservatórios de água passaram a voltar para o volume adequado, a ideia do uso de biodigestores nas propriedades agrícolas se esmaeceu novamente (PALHARES, 2007).

Ainda de acordo com Palhares, em 2007, o país se encontrava na terceira fase, a qual trata o biodigestor como uma tecnologia que se propõe a resolver os problemas ambientais e também gerar créditos de carbono. Além disso, pode-se dizer que após a regulamentação da geração distribuída e evolução dos sistemas de utilização de biogás há uma nova fase na qual a utilização desta tecnologia deve ganhar novo impulso.

Dessa forma, os resíduos dos suínos podem ser utilizados como biomassa para produção de biogás em biodigestores, um combustível natural que pode ser utilizado em aquecimento, iluminação, na geração de energia, entre outras aplicações (AVACI *et al.*, 2013). Da biomassa tratada resta outro subproduto, o biofertilizante, o qual se apresenta como uma pasta sólida (PETERSSON; WELLINGER, 2009).

A Figura 3 ilustra o processo de tratamento que ocorre em um biodigestor, o modelo da figura é o biodigestor canadense.

Figura 3– Processo de Tratamento de dejetos por Biodigestor Canadense



Fonte: AGROECOLOGIA (2014)

O biodigestor canadense, também conhecido como biodigestor da marinha, vem ganhando cada vez mais espaço no cenário brasileiro, por possuir uma estrutura simplificada que facilita sua operação e diminui os custos de implantação, e por apresentar alto rendimento (LINDEMEYER, 2008).

Este modelo é construído na horizontal e oferece a possibilidade de ter sua câmara de biodigestão tanto abaixo quanto acima do nível do solo. O gasômetro deste biodigestor é feito de uma manta de PVC, a qual infla com o aumento da quantidade de biogás produzido (LINDEMEYER, 2008).

Trata-se de um biodigestor de operação contínua, ou seja, os dejetos são recebidos diariamente para o processo de tratamento, produção de biogás e biofertilizante (LINDEMEYER, 2008).

Além disso, prefere-se este modelo quando há temperaturas mais altas, pois segundo estudo realizado por Souza *et al.* (2013a), temperaturas de 35 e 40 graus favorecem na taxa de biodigestão, aumentando sua produção acumulada, já que auxilia na decomposição anaeróbica.

Para que o dimensionamento do biodigestor seja realizado é necessário estar atento a aspectos como a quantidade de suínos na propriedade, a quantidade de biomassa disponível, o tempo de retenção hidráulica (TRH). Por meio da equação 1 é possível calcular o Volume de biomassa no biodigestor (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

$$V_{bio} = N_{suínos} \times V_{dejetos} \times TRH \quad (1)$$

Sendo:

V_{bio} = Volume mensal de biomassa no biodigestor (m³ de dejetos/mês)

N_{suínos} = Quantidade de suínos (unidades)

V_{dejetos} = Volume de dejetos gerados por suíno (m³ de dejetos/suíno)

TRH = Tempo de Retenção Hidráulica (dias)

Como já mencionado, o volume de dejetos produzidos por suíno na propriedade varia conforme certos parâmetros de peso, idade, ração utilizada, entre outros. Este dado, portanto, pode ser diferente de propriedade para propriedade podendo proporcionar resultados distintos em cada situação.

Na Tabela 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores da seção de Resíduos na Suinocultura são apresentados valores da literatura referentes a variável V_{dejetos} da equação 1.

Já o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) empregado no Brasil normalmente é de 22 a 30 dias e trata-se do tempo médio que a matéria orgânica irá permanecer dentro do biodigestor (Oliveira, 2005).

Em seu estudo, de 2005, Oliveira ainda afirma que biodigestores com volume de 100 e 300 m³ eram utilizados pela maioria dos produtores na região Sul, onde 70% dos produtores de suínos de Santa Catarina que utilizavam biodigestores eram atendidos por essas capacidades de biodigestor.

2.5.1 Rendimentos na Utilização do Biodigestor

O rendimento obtido na utilização do biodigestor pode variar de acordo com a composição da biomassa residual dos suínos utilizada para alimentar o sistema. Na tabela 5, é possível observar a composição do biogás, de acordo com diferentes autores encontrados na literatura.

Tabela 5- Percentual de gases na Composição do Biogás (%), por diferentes autores

	Alves <i>et al.</i> (1980)	Teixeira (1985)	Sganzerla (1983)	Oliveira (2002)
Metano	54-70	54-80	60-70	55-70
Dióxido de Carbono	27-45	20-45	30-40	27-45
Hidrogênio	1-10	-	Traços	1-10
Nitrogênio	0,5-3	Traços-3	Traços	0,5-3
Oxigênio	0,1	-	-	0,1
Ácido Sulfídrico	Traços	Traços-3	Traços	Traços

Fonte: Adaptado de Silva e Francisco (2010); MAPA (2016); Sganzerla (1983);

É possível notar que o biogás pode ser composto de 54 a 80% de metano (CH₄), 20 a 45% de dióxido de carbono, e além disso, contém traços de hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, e ácido sulfídrico, ao se observar a Tabela 5. Além disso, sabe-se que o biogás possui em sua composição maior quantidade de metano quanto maior a presença de matéria orgânica na biomassa residual dos suínos (HULLU *et al.*, 2008) (PETERSSON; WELLINGER, 2009).

O metano, segundo Angonese *et al.* (2007) é um gás inodoro, inflamável, mais leve que o ar, explosivo e que em concentrações acima de 500 mil ppm podem provocar dor de cabeça em humanos.

De acordo com relatório divulgado internacionalmente pelo painel do IPCC em 2013, o potencial do metano para o aquecimento global é 34vezes maior do que o do dióxido de carbono em um período de 100 anos (IPCC, 2013). Com tal afirmação, mostra-se mais uma vantagem da utilização de biodigestores nas propriedades suinícolas.

Para o cálculo da produção de biogás pode-se utilizar a equação 2 (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

$$P_{\text{biogás}} = V_{\text{bio}} \times K1 \quad (2)$$

Sendo:

$P_{\text{biogás}}$ – Quantidade mensal de biogás produzido (m³ de biogás/mês)

V_{bio} – Volume mensal de biomassa no biodigestor (m³ de dejetos/mês)

K1 – Índice de Produção de Biogás por Dejetos (m^3 de biogás/Kg de dejetos)

A quantidade de biogás produzido ($P_{\text{biogás}}$) dependerá do volume de biomassa que irá alimentar o biodigestor (V_{bio}), e também do índice K1 referente à eficiência da produção de biogás no biodigestor por Kg de dejetos.

Os valores para o índice K1, encontrados na literatura em estudos realizados por diferentes autores, em unidades de terminação, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Índice K1 de produção de biogás por dejetos de suínos em unidade de terminação, por diferentes autores

Autor	National Academy of Sciences	National Academy of Sciences	Sganzerla	Barrera	Konzen	Pereira	Oliveira e Higarashi
K1 (m^3 de biogás/Kg de Dejeto)	0,079	0,096-0,104	0,56	0,083	0,0005	0,0005 - 0,0007	0,00035 - 0,00060
Ano da Pesquisa	1977	1977	1983	1993	1983	2005	2006
Local de obtenção de Parâmetros	Estados Unidos	Estados Unidos	RS	SP	Concórdia SC	SP	Concórdia SC

Fonte: Adaptado de Oliveira (1993); Santos e Nardi Junior (2013); Gaspar (2003); Oliveira e Higarashi (2006)

No Manual de Manejo e utilização dos dejetos de suínos da EMBRAPA e CNPSA em Concórdia - Santa Catarina, publicado em 1993, foi encontrado o dado da National Academy of Sciences (1977) de $0,079 \text{ m}^3$ de biogás por Kg de dejetos, exposto na Tabela 6.

Além disso, pode-se afirmar por meio de cálculos realizados com dados da National Academy of Sciences (1977), fornecidos no mesmo manual, que a produção de biogás por dejetos em unidades de terminação apresenta outro valor.

Os dados utilizados da National Academy of Sciences (1977) para estes cálculos foram $0,24 \text{ m}^3$ de biogás por animal por dia, e a consideração de que suínos com aproximadamente 90 Kg geram de 2,3 a 2,5 Kg de dejetos diariamente. Dessa forma, dividindo-se a quantidade de biogás gerado diariamente pelos dois valores extremos de dejetos gerado diariamente por suíno, chega-se ao intervalo de $0,096$ à $0,104 \text{ m}^3$ de biogás por Kg de dejetos.

O valor de Konzen (1983) na Tabela 6 foi adaptado para o presente estudo de acordo com o valor encontrado no Manual de Manejo e utilização dos dejetos de suínos da EMBRAPA e CNPSA em Concórdia - Santa Catarina, publicado em 1993.

De acordo com a Instrução Técnica para o Suinocultor, redigida por Miranda, Zardo, e Gosmann (1999) e publicada pela Embrapa, a densidade dos dejetos suínos pode variar de 1.000 a 1.038 kg/m³. No presente trabalho, estipulou-se trabalhar com o valor de 1.000kg/m³ para efeito de conversões.

O valor original dado por Konzen (1983) é de 0,5 m³ de biogás para 1m³ de esterco. Sabe-se que 1m³ de esterco equivale a 1.000 litros. Portanto, ao realizar as devidas conversões obtém-se o valor de 0,0005 m³ de biogás por Kg de dejetos.

Santos e Nardi Junior (2013), em seu trabalho sobre Produção de Biogás a partir de dejetos de origem animal, utilizam o valor de 560 m³ de biogás por tonelada de dejetos suínos, retirado do livro Biodigestor: uma solução escrito por Sganzerla (1983) e publicado no Rio Grande do Sul. Ou seja, ao realizar a conversão, obtém-se 0,56 m³ de biogás por kg de esterco.

Além desse valor, Santos e Nardi Junior (2013) apresentam em seu mesmo trabalho, valores da Tabela 6 determinados por Pereira (2005) de 0,5 a 0,7 m³ biogás/dia por m³ de biomassa, convertidos para 0,0005 a 0,0007 m³ de biogás por Kg de dejetos.

O dado de Barrera (1993), citado por Gaspar (2003) em seu estudo, foi extraído do livro Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural, o qual afirma que 12 kg diários de dejetos são necessários para a produção de 1 m³ de biogás. Ou seja, realizando o cálculo, obtém-se que para 1 Kg de esterco é produzido 0,083 m³ de biogás.

Em documento do Projeto de controle da degradação ambiental da suinocultura desenvolvido pela Embrapa de Concórdia - SC, Oliveira e Higashihara (2006) afirmam que a produção de biogás varia entre 0,00035 e 0,00060 m³ de biogás por Kg de dejetos.

O valor máximo para o Índice K1 de produção de Biogás por Dejetos em Unidade de Terminação (m³ de biogás/Kg de dejetos) é 1.600 vezes maior do que o valor mínimo encontrado, como pode ser observado na Tabela 6. Esta discrepância nos dados ocorre novamente devido a fatores que influenciam na composição do dejetos e conseqüentemente no índice de produção de biogás.

Outra forma de se calcular o volume de biogás produzido por dejetos se dá por meio do volume de sólidos voláteis presentes no dejetos (SCHERER *et al.*, 1996) (LIMA, 2007). Sabe-se que haverá maior produção de biogás, quanto maior a quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos (SCHERER *et al.*, 1996) (LIMA, 2007).

A equação 3 demonstra como o cálculo do índice K1 pode ser realizado por meio da quantidade de sólidos voláteis presentes no dejetos.

$$K1 = SV \times K2 \quad (3)$$

Sendo:

K1 - Índice de Produção de Biogás por Dejetos (m³ de biogás/Kg de dejetos)

SV - Quantidade de Sólidos Voláteis por Dejetos (Kg de SV/Kg de dejetos)

K2 – Índice de Produção de Biogás por quantidade de Sólidos Voláteis presentes no dejetos (m³ de biogás/Kg de SV)

Diferentes valores referentes a quantidade de sólidos voláteis por dejetos de suíno (SV) na fase de terminação são demonstrados na Tabela 4 – Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores, a qual pode ser observada na seção de Resíduos na Suinocultura do presente trabalho.

A Tabela 7 apresenta dados de outro parâmetro da equação 3 - Índice de eficiência de produção de biogás por quantidade de Dejetos - o índice K2 de Produção de Biogás por quantidade de Sólidos Voláteis presentes no dejetos (m³ de Biogás/ Kg de SV). Nesta tabela é demonstrada a variação deste índice de acordo com estudos realizados por diferentes autores.

Tabela 7 – Índice K2 de produção de biogás por quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos, por diferentes autores

Autor	Ano de Publicação	K2 (m³ de biogás/Kg de SV)
National Academy of Sciences	1977	0,37 - 0,50
Morga <i>et al.</i>	1981	0,37 - 0,50
Merkel	1981	0,35 - 0,80
La, Farge	1995	0,45
Centro para a Conservação de Energia	2000	0,45
Oliveira	2008	0,45

Fonte: Oliveira (1993); Oliveira (2005); Lindemeyer (2008)

Os intervalos de índices da Tabela 7 obtidos em estudos da National Academy of Sciences (1977) e no livro de Merkel (1981), ambos dos Estados Unidos, e por estudos de Morga *et al.* (1981) no Rio Grande do Sul, foram encontrados no Manual de Manejo e utilização dos dejetos de suínos da EMBRAPA e CNPSA em Concórdia - Santa Catarina de 1993.

Segundo Oliveira (2005), para o Centro para a Conservação de Energia (2000) e por La Farge (1995) a produção de biogás é de 0,45 m³ de biogás/Kg de Sólidos Voláteis quando a temperatura da biomassa varia entre 30 a 35°C. Este índice se repete também na Análise da viabilidade econômico financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica de Lindemeyer (2008), o qual afirma que o mesmo valor foi determinado por Oliveira (2008). Percebe-se que este valor para o índice K2 está incluso nos intervalos propostos pela National Academy of Sciences (1977), Morga *et al.* (1981), e Merkel (1981).

Observa-se um grau de incerteza, associado tanto aos fatores que influenciam na determinação do índice K2 quanto na determinação do índice K1. Esta incerteza afeta conseqüentemente as estimativas de produção de biogás, e de geração de energia elétrica.

Oliveira (2005) afirma que além do TRH, do volume do biodigestor, e da quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos, a temperatura da biomassa também afeta na quantidade produzida diariamente de biogás. Apesar da clara importância destes fatores, existem estudos que não os apresentam.

Com o aumento da carga de sólidos voláteis presentes e da temperatura da biomassa que alimenta diariamente o biodigestor, e com a diminuição do TRH, obtém-se um aumento na produção de biogás. Todavia, diminuindo-se o tempo de TRH o substrato resultante não apresenta-se totalmente curado o que significa que se for utilizado como fertilizante sem a adequada estabilização poderá gerar problemas ambientais. Além disso, devido ao pouco tempo de TRH parte dos sólidos totais pode não ser decomposta e acarretar na emissão de gases de efeito estufa, notadamente CO₂ e metano, para o meio ambiente durante o processo de estabilização.

2.6 ENERGIA

De acordo com o *relatório BP Statistical Review of World Energy* publicado em 2017, do total de energia consumida pela sociedade humana no mundo, 89,98% provêm de recursos não renováveis, onde 95,04% são de fontes fósseis, carvão, petróleo e gás natural. O restante 10,02% provêm de fontes renováveis, como por exemplo, hidroelétricas e biocombustíveis. Em países desenvolvidos, o percentual que compõem a parcela de fontes renováveis é ainda menor, em decorrência do baixo custo dos combustíveis fósseis.

2.6.1 Fontes Alternativas de Energia

No começo da civilização, a energia foi primeiramente obtida através de vegetais, que acumulavam energia solar por meio da fotossíntese em suas células e componentes. Tem-se então que a lenha era a fonte de combustível para o homem. O petróleo, carvão e gás natural surgiram posteriormente com o avanço das atividades industriais (NOGUEIRA, 2015).

Hoje, a energia proveniente de vegetais ou de resíduos orgânicos, como por exemplo, a biomassa, passa a ser vista como uma alternativa sustentável às fontes de combustíveis fósseis com vantagens nas esferas econômicas, ambientais e sociais (NOGUEIRA, 2015).

Os biocombustíveis podem ser classificados em três tipos: biocombustíveis da madeira (dendrocombustíveis), biocombustíveis não florestais (agrocombustíveis) e resíduos urbanos (NOGUEIRA, 2015).

A biomassa gerada na atividade suinícola se enquadra no segundo tipo de biocombustível, os não florestais, que podem ser subdivididos em combustíveis de plantações energéticas, subprodutos agrícolas, subprodutos animais e subprodutos agroindustriais. Os biocombustíveis não florestais de subprodutos animais podem ser definidos basicamente como esterco de aves, bovinos e suínos (NOGUEIRA, 2015).

O tipo de biomassa em questão no presente trabalho pode ser transformado em biogás com o auxílio de biodigestores e a partir de então aproveitar o seu potencial energético. Segundo Avaci, *et al.* (2013) o setor energético pode sofrer crise nas próximas décadas em decorrência da irregularidade entre o crescimento da demanda por energia e a falta de capacidade da oferta ir ao mesmo ritmo da expansão do Produto Interno Bruto (PIB). Além disso, deve-se tentar substituir cada vez mais as fontes convencionais de energia por renováveis para que se possa pensar em uma maior sustentabilidade do setor.

O Relatório Final do Balanço Energético Nacional publicado pelo Ministério de Minas e Energia em 2016 mostra que a oferta interna de energia elétrica vem principalmente da matriz hidrelétrica com 64% do total, seguido pelo gás natural, que representa 12,9% do total e por terceiro a biomassa representando 8% da oferta nacional.

A questão da eficiência energética passa a ter mais atenção dos meios políticos ao redor do mundo, visto a volatilidade dos preços das fontes convencionais e o constante crescimento da população e preocupação com o futuro da oferta de energia (AVACI *et al.*, 2013).

A Tabela 8 mostra a equivalência energética de 1 m³ de biogás em relação à diferentes fontes de energias convencionais, como gás de cozinha, gasolina, eletricidade, lenha e álcool.

Tabela 8 - Equivalência Energética do Biogás

Equivalência Energética de 1,0 m³ de biogás
1,5 m ³ de gás de cozinha
0,6 litros de gasolina
1,43 kWh de eletricidade
2,7 kg de lenha
0,9 litros de álcool

Fonte: César *et al.* (2016)

Em estudos encontrados na literatura observou-se mais de uma forma para o cálculo de geração de energia elétrica utilizando o biogás. Segundo Kerkhoff *et al.* (2015), um modo de se obter a quantidade de energia elétrica gerada em kWh é utilizando a equação 4.

$$\text{Energia Elétrica Gerada} = P_{\text{biogás}} \times \text{IGE} \quad (4)$$

Sendo:

Energia Elétrica Gerada - Energia Elétrica gerada mensalmente (kWh/mês)

$P_{\text{biogás}}$ - Quantidade mensal de biogás produzido (m³ de biogás/mês)

IGE - Índice de Geração de Eletricidade (kWh/m³ de biogás)

Kerkhoff *et al.* (2015) utiliza o índice de geração de eletricidade de 1,43 kWh/m³ de biogás. Porém, o Índice de Geração de Eletricidade da equação 4, pode variar conforme outros estudos de diferentes autores encontrados na literatura, como apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Índice de Geração de Eletricidade a partir do biogás, por diferentes autores

Autor	Ano de Publicação	Índice de Geração de Eletricidade (kWh/m³ de biogás)
CETEC	1982	1,6
Guyut	1997	1,4
Santos	2000	2 a 2,5
Coldebella et al.	2006	2,1
Kerkhoff et al.	2015	1,43

Fonte: CETEC (1982); Guyut (1997); Santos (2000); Coldebella et al. (2006); Kerkhoff et al. (2015)

De acordo com Santos e Nardi Junior (2013), a geração de eletricidade pode ser calculada por meio da quantidade de metano presente na composição do biogás.

Após realizar um cálculo para determinação da quantidade de metano presente no biogás gerado por mês, por meio da equação 5 é possível estimar a quantidade energia elétrica gerada na propriedade. A equação 5 considera a informação do estudo de Macedo (2008) citado por Santos e Nardi Junior (2013), de que 1 m³ de CH₄ equivale a 10,53 kWh.

$$\text{Energia Elétrica Gerada} = \text{CH}_4 \times 10,53 \quad (5)$$

Energia Elétrica Gerada - Energia Elétrica gerada mensalmente (kWh/mês)

CH₄ - Quantidade de metano presente no biogás produzido mensalmente (m³/mês)

A geração de energia pode ser realizada por meio de geradores já existentes no mercado. A Tabela 10 - Potência, Fator de Potência, Consumo, e Capacidade de Geração para diferentes Geradores a Biogás, lista alguns geradores presentes no mercado, de acordo com Leite e Ferraz (2016), apresentando diferentes potências e capacidade de geração a partir do biogás. Pode-se observar também o fator de

potência, o qual é o mesmo para todos os geradores e o consumo de biogás por hora, que aumenta de acordo com a potência.

Tabela 10- Potência, Fator de Potência, Consumo, e Capacidade de Geração para diferentes Geradores a Biogás

Potência (kVA)	Potência (kW)	Fator de Potência	Consumo (m ³ /h)	Capacidade de Geração (kWh/m ³)
20	16	0,8	11	1,45
25	20	0,8	13	1,54
30	24	0,8	16	1,5
36	29	0,8	19	1,53
50	40	0,8	21	1,90
56	45	0,8	24	1,88
70	56	0,8	29	1,93
90	72	0,8	36	2
112	90	0,8	49	1,84
122	98	0,8	55	1,78

Fonte: Adaptado de Leite e Ferraz (2016)

Observa-se que os geradores comerciais são mais eficientes na faixa de potência entre 70kVA e 112 kVA. Desse modo, a escala adequada da estrutura de produção de biogás e geração de energia pode ser um fator relevante na viabilidade e competitividade da atividade.

2.6.2 Geração Distribuída

Em 17 de abril de 2012, foram regulamentadas pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 a micro e minigeração distribuídas. A resolução em questão permite que o consumidor gere sua própria energia elétrica com o uso de fontes

renováveis ou cogeração qualificada, podendo também fornecer para a rede de distribuição local o que for excedente em sua geração (ANEEL, 2016).

Tal medida contribui para a redução da insegurança energética do produtor rural que utiliza biodigestor em sua propriedade, uma vez que o mesmo não terá o fornecimento comprometido em casos de limpeza, manutenção ou até mesmo falha no sistema de biodigestor(ANEEL, 2016).

O governo decidiu estimular a geração distribuída com o intuito de adiar investimentos na expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, reduzir o impacto ambiental gerado, reduzir o carregamento das redes, minimizar perdas, bem como diversificar a matriz energética do país (ANEEL, 2016).

A Resolução Normativa nº 482/2012 foi revisada pela Resolução Normativa nº 687/2015, que entrou em vigor no dia 1º de março de 2016 (ANEEL, 2016). Entre as principais inovações, após a revisão da norma, está a permissão do uso de qualquer fonte renovável, a cogeração qualificada, estabelecendo que microgeração é caracterizada por central geradora com potência instalada de até 75 quilowatts e minigeração com potência acima de 75 quilowatts até 5 megawatts (ANEEL, 2016).

O consumidor passa a ter direito a créditos com validade de 60 meses quando a energia consumida for menor do que a gerada em determinado mês. Foi introduzido o conceito de autoconsumo remoto, onde os créditos podem inclusive ser utilizados em outra unidade consumidora, contanto que seja do mesmo titular e esteja localizada na área de atendimento de uma mesma distribuidora (ANEEL, 2016).

Foi criada também a geração compartilhada, que garante o direito aos interessados de se reunirem em cooperativas ou em consórcio para instalar geração distribuída, tanto mini quanto micro (ANEEL, 2016).

Portanto, percebe-se que além de permitir uma maior segurança, a regulamentação estimula a geração de energia, assim como a concentração da produção. Todavia, a análise da viabilidade e dimensionamento depende de parâmetros que ainda carecem de refinamento ou mais detalhamento.

Percebe-se que ao decorrer do referencial teórico foram discutidos temas pertinentes à problemática ambiental, tais como a gestão ambiental, gestão do ciclo de vida, economia circular, entre outros.

Também foram levantados pontos relacionados à atividade suinícola no país

e a importância do Brasil em tal atividade perante outros países. No item 2.4 discutiu-se a viabilidade do aproveitamento energético possível na atividade da suinocultura devido a farta disponibilidade de biomassa. Além disso foram expostas e discutidas as tecnologias disponíveis para tal fim e a recente regulamentação do setor nos itens 2.5 e 2.6, respectivamente.

Observou-se por meio do referencial que há melhorias tanto econômicas quanto do desempenho ambiental das atividades suínolas devido a redução da dependência de fontes de energia não renováveis e conseqüentemente da geração de gases efeito estufa.

Todavia, ainda existem incertezas especialmente na questão dos parâmetros básicos para projeções e planejamento da atividade de geração. Como é o caso da discrepância das informações apresentadas nas Tabela 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores, Tabela 4 – Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores, Tabela 6 – Índice K1 de produção de biogás por dejetos de suínos em unidade de terminação, por diferentes autores e Tabela 7 – Índice K2 de produção de biogás por quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos, por diferentes autores.

É neste contexto, e a partir destas informações que se desenvolve o presente trabalho.

3 METODOLOGIA

Este capítulo visa detalhar os procedimentos metodológicos utilizados no presente trabalho para que se consiga atingir os objetivos propostos. Este detalhamento se dá pela classificação da pesquisa e etapas para desenvolvimento da pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A natureza da pesquisa é aplicada, pois terá como foco a aplicação e não somente o desenvolvimento de conhecimentos científicos. Este tipo de pesquisa se mostra mais concentrado em problemas específicos atrelados às realidades e interesses (GIL, 2008).

O presente trabalho, quanto ao seu método científico, terá caráter indutivo. Uma vez que o método indutivo é um processo pelo qual é possível inferir uma provável verdade geral ou universal por meio de dados devidamente averiguados, ao contrário do método dedutivo, no qual premissas verdadeiras levam necessariamente a uma verdade. São necessárias três fases para que se desenvolva o método científico indutivo: observação dos fenômenos, levantamento da relação entre eles e generalização da relação (LAKATOS, E.; MARCONI, M., 2003).

Quanto à forma de abordagem, tem-se que o presente estudo possuirá caráter tanto qualitativo quanto quantitativo, pois envolverá análise dos dados e avaliação dos impactos de maneira quantitativa e proposição de melhorias de forma qualitativa.

O trabalho quanto aos objetivos, pode ser definido como uma pesquisa exploratória, a qual segundo Gil (2008) tem como base o amadurecimento de conceitos e ideias, a fim de se ter mais precisão para pesquisas futuras.

Quanto aos procedimentos técnicos adotados no trabalho, a pesquisa será bibliográfica, pois serão utilizados materiais como relatórios de estudos, dados compilados por empresas e institutos. Não será necessário o levantamento de

informações por meio de pesquisas, questionários ou levantamentos realizados diretamente pelos autores.

3.2 ETAPAS PARA DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento da pesquisa, a primeira etapa foi o levantamento bibliográfico. O primeiro passo nesta etapa foi a consulta aos portais SciELO, Science Direct, Periódicos CAPES, e Google Scholar utilizando as palavras-chave do presente trabalho.

Por meio dos trabalhos encontrados, foi possível identificar e incluir no levantamento bibliográfico outros autores e estudos sobre o tema, além de portais e institutos de pesquisa e governamentais como EMBRAPA, IBGE, ANEEL.

Por meio do levantamento bibliográfico foram verificados os parâmetros encontrados referentes à utilização de biodigestor na suinocultura, e traçados comparativos para análise da robustez dos mesmos.

A segunda etapa foi a análise do levantamento bibliográfico e a caracterização da unidade suinícola produtiva de referência do presente trabalho. Portanto, os parâmetros pesquisados e utilizados nas etapas posteriores são referentes às atividades incluídas no escopo do estudo apresentado nesta etapa.

A terceira etapa do desenvolvimento da pesquisa é a determinação do cenário base de acordo com as determinações da segunda etapa. Utiliza-se nessa etapa as equações para cálculo do Volume do Biodigestor (equação 1 - Volume de biomassa no biodigestor), dos Índices K1 utilizados (equação 3 - Índice de eficiência de produção de biogás por quantidade de dejetos), e da Produção de Biogás (equação 2 - Quantidade mensal de biogás produzido), as quais se encontram no referencial teórico.

Nesta etapa foram escolhidas equações, provenientes da literatura, contendo menos parâmetros. Isto se justifica pelo fato de que o público alvo do presente estudo são produtores de unidades de terminação de pequeno porte, que necessitam de projeções simplificadas da aplicabilidade de um biodigestor em sua propriedade.

A quarta etapa consiste em utilizar o cenário base proposto para executar análises de sensibilidade dos parâmetros de quantidade de dejetos gerados por animal, e de quantidade de biogás produzido por dejetos.

Com este intuito, consideram-se variações nos valores do volume de dejetos gerados por suíno e do volume de biogás produzido por dejetos, a fim de verificar o impacto destas variações nos resultados de produção de biogás e geração de energia elétrica.

Em uma quinta etapa é realizada uma análise da variação combinada dos parâmetros de volume de dejetos gerados por suíno e do volume de biogás produzido por dejetos, a fim de verificar o impacto destas variações nos resultados de produção de biogás e geração de energia elétrica.

Quadro 3 - Objetivos Específicos e Etapas de Desenvolvimento da Pesquisa

Objetivos Específicos	Etapas de Desenvolvimento da Pesquisa
Verificar os parâmetros encontrados referentes à utilização de biodigestor na suinocultura, e traçar um comparativo para análise dos mesmos;	Etapa 1 - Levantamento Bibliográfico;
Caracterizar a unidade suinícola produtiva de referência;	Etapa 2 - Análise do Levantamento Bibliográfico e Caracterização da unidade suinícola produtiva de referência Etapa 3 - Determinação do Cenário Base;
Realizar uma análise da sensibilidade dos parâmetros de geração de dejetos por suíno e de biogás por dejetos, e avaliar qual a influência deles sobre as projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica;	Etapa 4 - Análises de Sensibilidade;
Realizar uma análise da variação combinada dos parâmetros de geração de dejetos por suíno e de biogás por dejetos, e avaliar qual a influência deles sobre as projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica.	Etapa 5 - Análise da variação combinada dos parâmetros;

Fonte: Autoria Própria (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo 4 do presente trabalho se destina a demonstrar e discutir os resultados encontrados.

A seção 4.1, de caracterização da unidade suinícola produtiva de referência, aborda valores, características, e informações da propriedade, as quais não irão sofrer variação ou alteração no decorrer das análises. Enquanto isso, na seção 4.2, ocorre a determinação do cenário base, ou seja, define-se por meio de análises, a base utilizada para variação dos parâmetros na análise de sensibilidade das projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica.

A análise de sensibilidade da produção de biogás e geração de energia elétrica, presente na seção 4.3, é realizada tanto para o caso de variação do volume de dejetos gerado por suíno quanto para o caso de variação do volume de biogás produzido por dejetos.

Na seção 4.4, de análise da variação combinada dos parâmetros, os valores de geração de dejetos por suíno e de biogás por dejetos são variados simultaneamente a fim de avaliar qual a influência desta variação simultânea sobre as projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE SUINÍCOLA PRODUTIVA DE REFERÊNCIA

Analisando as tabelas 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores, 4 – Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores, 6 – Índice K1 de produção de biogás por dejetos de suínos em unidade de terminação, por diferentes autores e 7 – Índice K2 de produção de biogás por quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos suínos, por diferentes autores, expostas no levantamento bibliográfico realizado, observa-se que a maior parte dos parâmetros encontrados e expostos no referencial teórico são referentes à região Sul do Brasil. Isto pode-se explicar pelo fato desta região representar a maior parcela do abate nacional, como já mencionado anteriormente.

Portanto, considerou-se como unidade suinícola produtiva de referência para o presente trabalho, a atividade suinícola de uma propriedade representativa da realidade dos estados da unidade federativa do Sul: Santa Catarina, Rio Grande do Sul, e Paraná.

A partir dessa definição, outra informação levantada e analisada para a caracterização da unidade suinícola produtiva de referência é quanto ao tipo de produção adotada majoritariamente na região Sul.

Observa-se que as Unidades de Terminação, nas quais o leitão é comprado e permanece na propriedade até atingir o peso para ser direcionado ao abate, são predominantes em relação aos outros tipos de produção nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Portanto, este é o tipo de produção adotado para a unidade suinícola produtiva de referência.

Após determinados o local e o tipo de produção, por meio de análise do levantamento bibliográfico, é possível classificar o porte da propriedade e o número de suínos existentes.

Como já mencionado no referencial teórico, aproximadamente 100% das granjas de terminação se caracterizavam como empresas de pequeno porte, em 2015. Além disso, em um estudo divulgado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2016, foram consideradas como Unidades de terminação de pequeno porte aquelas com até 500 suínos.

Dessa forma, determinou-se que a propriedade da unidade suinícola produtiva de referência é de pequeno porte. A fim de realizar um estudo baseado na capacidade máxima de produção de biogás e geração de energia elétrica, neste tipo de propriedade, optou-se que a quantidade de suínos será de 500.

Também no estudo divulgado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2016, foi considerado que o consumo de energia em uma unidade de terminação de pequeno porte é de aproximadamente 2kWh/mês por suíno. Isto resulta, no caso da unidade suinícola produtiva de referência deste trabalho, em 1.000kWh consumidos mensalmente para a atividade suinícola.

Nota-se pela análise do levantamento bibliográfico que uma das tecnologias utilizadas no tratamento dos dejetos gerados em propriedades suinícolas são os biodigestores. E que o biodigestor canadense se destaca e vem ganhando cada vez mais espaço no cenário brasileiro por suas vantagens de fácil operação e menores

custos para implantação, além de seu alto rendimento.

Portanto, a tecnologia escolhida para o tratamento de dejetos gerados na unidade suínica produtiva de referência é um biodigestor canadense.

Quanto aos detalhes técnicos relacionados ao biodigestor utilizado, determina-se que os dejetos irão permanecer por aproximadamente 30 dias no biodigestor, sendo este, portanto, o tempo de retenção hidráulica (TRH) adotado para o estudo. Esta escolha se justifica visto que no levantamento bibliográfico, de acordo com Oliveira (2005) o TRH empregado no Brasil normalmente é de 22 a 30 dias.

Como visto também no referencial teórico do presente trabalho, com a matéria orgânica devidamente curada não há emissão de gases de efeito estufa, notadamente CO₂ e metano, para o meio ambiente durante o processo de estabilização. Dessa forma, optou-se pelo maior valor do intervalo.

Sabe-se que os resultados do processo de biodigestão da biomassa residual dos suínos são o biofertilizante e o biogás. Optou-se em estudar a produção de biogás, que por sua vez será utilizado na geração de energia elétrica para ser consumida na propriedade. A produção e uso do biofertilizante, apesar da possibilidade de gerar renda e agregar valor na atividade, não estão incluídas no escopo do estudo, pois não fazem parte dos objetivos do presente trabalho.

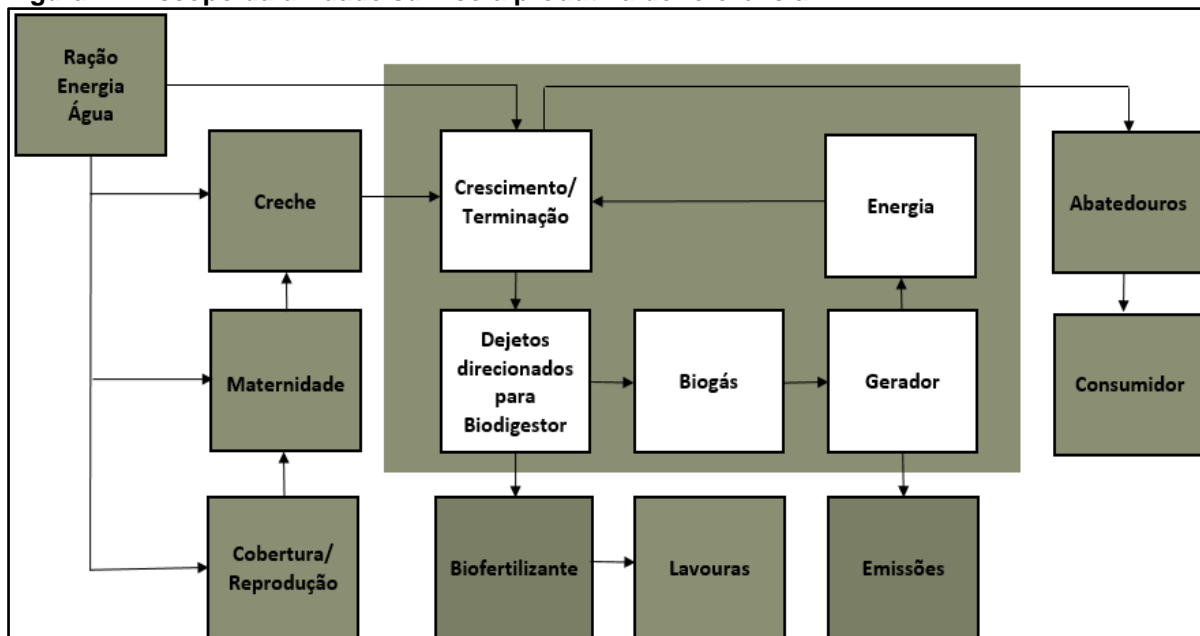
A composição do biogás na propriedade será 65% de Metano (CH₄), 30% de Dióxido de Carbono (CO₂), 1% de Hidrogênio (H), 3% de Nitrogênio (N), 0,5% de Oxigênio (O₂), e 0,5% de Ácido Sulfídrico (H₂S). Estes valores foram determinados por meio de análise e de escolha de valores médios da Tabela 5 - Percentual de gases na Composição do Biogás (%), por diferentes autores, presente no referencial teórico.

Na Figura 4 é possível observar o escopo do estudo proposto. A área sombreada engloba as atividades incluídas no escopo do estudo. Dentro das fronteiras delimitadas para o estudo, estão as seguintes etapas: produção de suínos na unidade de terminação, encaminhamento dos dejetos para o biodigestor, produção de biogás, e processo de geração de energia elétrica por meio do biogás.

Não será considerado portanto, a obtenção das matérias primas: ração, energia proveniente da concessionária, e água, bem como as fases anteriores à fase de terminação do ciclo de produção de suínos: cobertura/reprodução,

maternidade e creche, e as atividades posteriores de produção e uso de biofertilizante, abate e consumo.

Figura 4 – Escopo da unidade suinícola produtiva de referência



Fonte: Autoria Própria (2018)

A caracterização da unidade produtiva de referência, realizada nesta seção por meio da análise do levantamento bibliográfico, trata de valores, características, e informações da propriedade, as quais não irão sofrer variação ou alteração no decorrer das análises.

Já o cenário base, determinado na seção 4.2, será encontrado por meio da análise de intervalos de valores da literatura, e será tomado como base para variação dos parâmetros na análise de sensibilidade e nas projeções.

4.2 DETERMINAÇÃO DO CENÁRIO BASE

A fim de cumprir o objetivo de realizar uma análise de sensibilidade dos parâmetros utilizados nos cálculos de produção de biogás e geração de energia elétrica, e avaliar qual a influência deles sobre os resultados das estimativas, o primeiro passo é determinar o cenário base.

A propriedade considerada para a determinação do cenário base será a unidade suinícola produtiva de referência definida no tópico 4.1. Ou seja, uma unidade de terminação na região Sul com 500 suínos, que possui um biodigestor canadense com TRH de 30 dias, e que consome 1.000 kWh/mês para a atividade suinícola.

Além disso, os valores do cenário base consideram os parâmetros encontrados na literatura e apresentados no referencial teórico do presente trabalho, e representam uma média a qual servirá como a base para variações de cenário.

Visto que existem discrepâncias entre os parâmetros expostos no referencial teórico, na Tabela 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores, optou-se por trabalhar com análises no intervalo de 4,5 a 15 litros de dejetos por suíno, o qual abrange os valores encontrados na literatura e expostos nesta tabela.

Portanto, a quantidade de dejetos gerados pelos suínos do cenário base é de 9,5 litros por suíno. Este valor foi encontrado considerando a média dos parâmetros da Tabela 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores.

Entretanto, ainda que se varie o volume de dejetos gerados por suíno no cenário base, sabe-se que esta variação impactará na quantidade de biogás produzido apenas se a quantidade total de sólidos voláteis for alterada. Ressalta-se que a redução da água no volume de dejetos gerados por suíno vem sendo considerada pelos produtores como uma vantagem, visto que esta redução acarreta em uma diminuição dos custos de manejo destes dejetos, e melhor aproveitamento do volume do biodigestor.

Para determinar o intervalo dos valores utilizados nas análises referentes ao índice de produção de biogás por dejetos (K1), além dos parâmetros presentes na Tabela 6 – Índice K1 de produção de biogás por dejetos de suínos em unidade de terminação, por diferentes autores, que variam de 0,00035 à 0,104 m³ de biogás/kg de dejetos, foram considerados valores calculados por meio da equação 3 - Índice de eficiência de produção de biogás por quantidade de Dejetos.

A Tabela 11 apresenta os resultados da equação 3 - Índice de eficiência de produção de biogás por quantidade de Dejetos - ao se utilizar os dados das Tabelas

4 – Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores e Tabela 6 – Índice K2 de produção de biogás por quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos suínos, por diferentes autores, do referencial teórico.

Tabela 11 - Índice K1 de produção biogás, com base em valores de K2 de produção de biogás por sólidos voláteis e de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos

K2 (m ³ de biogás/ Kg de sólidos voláteis)	SV (Kg de sólidos voláteis/Kg de dejetos)					
	0,0035	0,0054	0,008	0,015	0,054	0,068
0,37 – 0,5	0,001 - 0,002	0,002 - 0,003	0,003 - 0,004	0,006 - 0,008	0,020 - 0,027	0,025 - 0,034
0,35 – 0,8	0,001 - 0,003	0,002 - 0,004	0,003 - 0,006	0,005 - 0,012	0,019 - 0,043	0,024 - 0,054
0,45	0,002	0,002	0,004	0,007	0,024	0,031

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2009); Oliveira (1993); Oliveira (2005); Lindemeyer (2008)

Foi encontrado um intervalo que varia entre 0,001 e 0,054 m³ de biogás por Kg de dejetos suíno, demonstrado na Tabela 11. Estes valores estão presentes no intervalo de 0,00035 a 0,56 m³ de biogás por Kg de dejetos, encontrados na Tabela 6 – Índice K1 de produção de biogás por dejetos de suínos em unidade de terminação, por diferentes autores, do referencial bibliográfico.

O intervalo de 0,001 a 0,054 m³ de biogás por Kg de dejetos será utilizado para a determinação do cenário base e do intervalo de variação nas análises do presente trabalho.

Esta escolha se justifica pois ao calcular a produção de biogás por dejetos a partir da quantidade de sólidos voláteis, obtém-se uma variação menor do que a encontrada na literatura, exposta na Tabela 7 – Índice K2 de produção de biogás por quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos, por diferentes autores. Enquanto o maior valor do intervalo da Tabela 7 é 1.600 vezes o menor valor, na Tabela 11 esta diferença é de 54 vezes.

Outra razão para a escolha do intervalo encontrado na Tabela 11 como referência para o presente estudo é o fato de que a mensuração de Sólidos Voláteis pode ser realizada laboratorialmente e, portanto, levar a resultados mais condizentes com a realidade da propriedade.

Ao se observar a Tabela 6 – Índice K1 de produção de biogás por dejetos de suínos em unidade de terminação, por diferentes autores, não se sabe o percentual de sólidos voláteis presente nos dejetos considerado pelos autores. Assim, os dados apresentados na Tabela 11, baseados nas quantidades de sólidos voláteis encontrados na literatura, tornam o presente estudo menos suscetível ao acúmulo de erro.

Além disso, utilizando-se do intervalo obtido na Tabela 11, o presente estudo poderá contribuir para estudos posteriores, pois é relativamente simples conseguir laboratorialmente a quantidade de sólidos voláteis presente nos dejetos.

O valor de 0,013 m³ de biogás por Kg de dejetos, presente neste intervalo, foi determinado como o índice K1 para o cenário base. Este valor representa a média encontrada a partir dos dados da Tabela 11. Optou-se por utilizar a média como o cenário base, visto que o intervalo de variação do índice K1 em relação a este valor é menor que se utilizada a mediana.

Tanto o valor de 9,5 litros de dejetos por suíno quanto o valor de 0,013 m³ de biogás por Kg de dejetos serão utilizados na análise de sensibilidade para avaliar a discrepância das estimativas de produção de biogás e geração de energia elétrica.

Por meio da equação 1, apresentada no referencial teórico, e considerando 500 suínos, 9,5 litros de dejetos por suíno, e um TRH de 30 dias, o volume de dejetos no biodigestor para o cenário base calculado é de 142.500 litros, ou seja, 142,5 m³.

Com esta informação é possível calcular, com a equação 2 - Quantidade mensal de biogás produzido - e utilizando o volume do biodigestor e o índice K1, a produção de biogás para o cenário base. O valor encontrado é de 1.852,5 m³ de biogás produzidos mensalmente.

A partir do levantamento de informações de geradores existentes no mercado, uma análise da Tabela 10 - Potência, Fator de Potência, Consumo, e Capacidade de Geração para diferentes Geradores a Biogás, do referencial teórico, auxilia na definição do índice de geração de energia elétrica (IGE) a partir do biogás

para o cenário base do presente estudo.

Por meio da Tabela 12, adaptada da Tabela 10 do referencial teórico, são comparados diferentes consumos e capacidades de geração para os diferentes geradores a biogás, bem como o tempo de funcionamento destes geradores caso fossem utilizados no cenário base da unidade suinícola produtiva de referência. Ou seja, caso a produção de biogás diária fosse de 61,75 m³ de biogás, baseada na produção mensal do cenário base de 1.852,5 m³ de biogás.

Portanto, o tempo de funcionamento, em horas, é obtido pela divisão da produção diária de 61,75 m³ de biogás pelo consumo de cada gerador em m³/h.

Tabela 12- Tempo de Funcionamento calculado para diferentes escolhas de Geradores a Biogás, considerando a produção diária de biogás da unidade suinícola produtiva de referência

Potência (kVA)	Potência (kW)	Fator de Potência	Consumo (m ³ /h)	Capacidade de Geração (kWh/m ³)	Tempo de Funcionamento (horas)
20	16	0,8	11	1,45	5,61
25	20	0,8	13	1,54	4,75
30	24	0,8	16	1,5	3,86
36	29	0,8	19	1,53	3,25
50	40	0,8	21	1,90	2,94
56	45	0,8	24	1,88	2,57
70	56	0,8	29	1,93	2,13
90	72	0,8	36	2	1,72
112	90	0,8	49	1,84	1,26
122	98	0,8	55	1,78	1,12

Fonte: Adaptado de LEITE, FERRAZ (2016)

Como visto no levantamento bibliográfico realizado anteriormente, LEITE, FERRAZ (2016) afirma que o menor gerador de energia elétrica a biogás disponível no mercado de acordo com os fornecedores pesquisados em seu estudo, possui potência aparente de 20 kVA, potência ativa de 16 kW, e fator de potência de 0,8. Sendo que, o consumo desse gerador é de 11 m³ de biogás por hora e ele possui uma capacidade de geração de 1,45 kWh/m³.

Mesmo ao utilizar na propriedade o menor gerador de energia elétrica, devido a geração de biogás diária determinada no cenário base, há um indicativo de que o tempo de ociosidade faria com que esta escolha se tornasse inviável. E em qualquer um dos casos, como pode ser visto na Tabela 12, na maior parte do dia o gerador estaria ocioso.

A melhor opção para este caso seria a geração compartilhada, ou seja, a criação de cooperativas para instalar a geração distribuída a partir do biogás, com transporte realizado por gasodutos. Situação que foi abordada no referencial teórico. Desse modo, seria possível a utilização dos geradores mais eficientes tornando viável a instalação de biodigestores.

No entanto, como este estudo não considera a criação de cooperativas, optou-se por utilizar a opção de menor consumo de biogás, posto que a disponibilidade deste recurso é inferior a demanda dos geradores apresentados na Tabela 12. Ou seja, será utilizado como índice de geração de energia elétrica o valor de 1,45 kWh/mês, a fim de estimar a energia elétrica produzida pela propriedade.

O potencial de geração de energia elétrica do cenário base é determinado com a equação 8 - Energia Elétrica Gerada. Utilizando o valor de 1.852,5 m³ de biogás produzido mensalmente e o Índice de Geração de Energia Elétrica estipulado de 1,45 kWh/mês, obtém-se 2.686,1 kWh/mês.

A Tabela 13 engloba as informações do cenário base da unidade suinícola produtiva de referência. Estas informações serão utilizadas para comparação com cenários alternativos, nos quais consideram-se os intervalos de variação determinados nesta seção.

Tabela 13– Cenário Base da unidade suinícola produtiva de referência

Sistema de Produção	Unidade de Terminação
Suínos	500 suínos 9,5 litros de dejetos gerados por suíno diariamente ou 0,0095 m ³ de dejetos gerados por suíno diariamente
Biodigestor	Modelo Canadense 142,5 m ³ de biomassa por mês 30 dias de TRH 0,013 m ³ de biogás produzido por Kg de dejetos 1.852,5 m ³ de biogás produzido mensalmente
Consumo de Energia Elétrica para a atividade suinícola	1.000 kWh
Potencial de Geração de Energia Elétrica mensal a partir do biogás	2.686,1 kWh

Fonte: Aatoria Própria (2017)

4.3 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE – PRODUÇÃO DE BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA GERADA

Devido às discrepâncias encontradas nos parâmetros obtidos na literatura, realiza-se nesta seção a análise de cenários alternativos. Estes cenários alternativos consideram variações nos valores do volume de dejetos gerados por suíno e do volume de biogás produzido por dejetos.

Para esta análise são utilizados o cenário base e os intervalos determinados na seção 4.2, com o intuito de avaliar o quanto estas variações impactam nos resultados dos cálculos de produção de biogás e conseqüentemente nas projeções de geração de energia elétrica.

4.3.1 Variação de Vdejetos - Volume de Dejetos Gerados por Suíno

Para se obter os resultados de Pbiogás apresentados na Tabela15, os valores utilizados para Vdejetos na equação 2 - Quantidade mensal de biogás produzido - estão em um intervalo que varia até 60% acima e abaixo do valor do cenário base de 9,5 litros de dejetos gerados por suíno diariamente. Esta variação contém o intervalo de 4,5 a 15 litros diários de dejetos por animal, conforme levantado

na bibliografia e identificado na Tabela 3 – Quantidade de Dejetos gerados por suínos em Unidades de Terminação, por diferentes autores.

A variação do volume de dejetos é realizada sem que isso represente uma variação na quantidade de Sólidos Voláteis na composição do dejetos. Ou seja, trata-se de variar a quantidade de dejetos, água e sólidos, na mesma proporção.

Além disso, foi considerado para o cálculo de Pbiogás, o valor do índice K1 determinado para o cenário base, de 0,013m³ de biogás produzido por kg de dejetos.

Dessa forma, avalia-se o impacto da variação dos parâmetros, referentes ao volume de dejetos gerado por suíno, nos resultados do cálculo da produção de biogás na propriedade.

São demonstrados também, na Tabela 14, os resultados obtidos com a equação 8 - Energia Elétrica Gerada - multiplicando-se o índice de 1,45 kWh/mês pelos valores de Pbiogás calculados e expostos na mesma tabela.

Como já mencionado na revisão bibliográfica, de acordo com a Instrução Técnica para o Suinocultor publicada pela Embrapa, a densidade dos dejetos suínos pode variar de 1.000 a 1.038 kg/m³.

No presente trabalho, estipulou-se trabalhar com o valor de 1.000kg/m³ para efeito de conversões. Portanto, para os cálculos, assumiu-se que 1Kg de dejetos é equivalente a 1L de dejetos.

Tabela 14 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação de Vdejetos - Volume de Dejeto gerado por suíno diariamente

Variação de Vdejetos em relação ao cenário base	Vdejetos (litros/animal/dia)	Pbiogás (m³ de biogás/mês)	Energia Elétrica Gerada (kWh/mês)
-60%	3,8	741,0	1.074,5
-50%	4,8	926,3	1.343,1
-40%	5,7	1.111,5	1.611,7
-30%	6,7	1.296,8	1.880,3
-20%	7,6	1.482,0	2.148,9
-10%	8,6	1.667,3	2.417,5
0%	9,5	1.852,5	2.686,1
10%	10,5	2.037,8	2.954,7
20%	11,4	2.223,0	3.223,4
30%	12,4	2.408,3	3.491,9
40%	13,3	2.593,5	3.760,6
50%	14,3	2778,8	4029,2
60%	15,2	2964,0	4297,8

Fonte: Aatoria Própria (2017)

Quanto aos resultados de Pbiogás, percebe-se que entre o menor e o maior valor possível de produção de biogás na propriedade há uma amplitude de 2.223 m³ de biogás por mês.

Essa amplitude de variação se justifica pelo fato do valor médio utilizado não conseguir representar a diversidade de realidades possíveis referente a geração de dejetos e a produção de biogás. Os valores que compõem a média, como já abordado no referencial teórico do presente trabalho, são provenientes de estudos de diferentes autores que consideram realidades distintas: temperatura, tempo de retenção hidráulica do biodigestor, arraçoamento, e características dos animais, por exemplo. Desse modo, há variações na quantidade de volume de dejetos gerado por suíno, na capacidade do biodigestor, e no potencial dos dejetos para produção de biogás.

Percebe-se que os resultados de geração de energia elétrica irão acompanhar as variações percentuais de Produção de Biogás da Tabela 14. Ou seja, os valores de Pbiogás e de energia elétrica gerada são proporcionais.

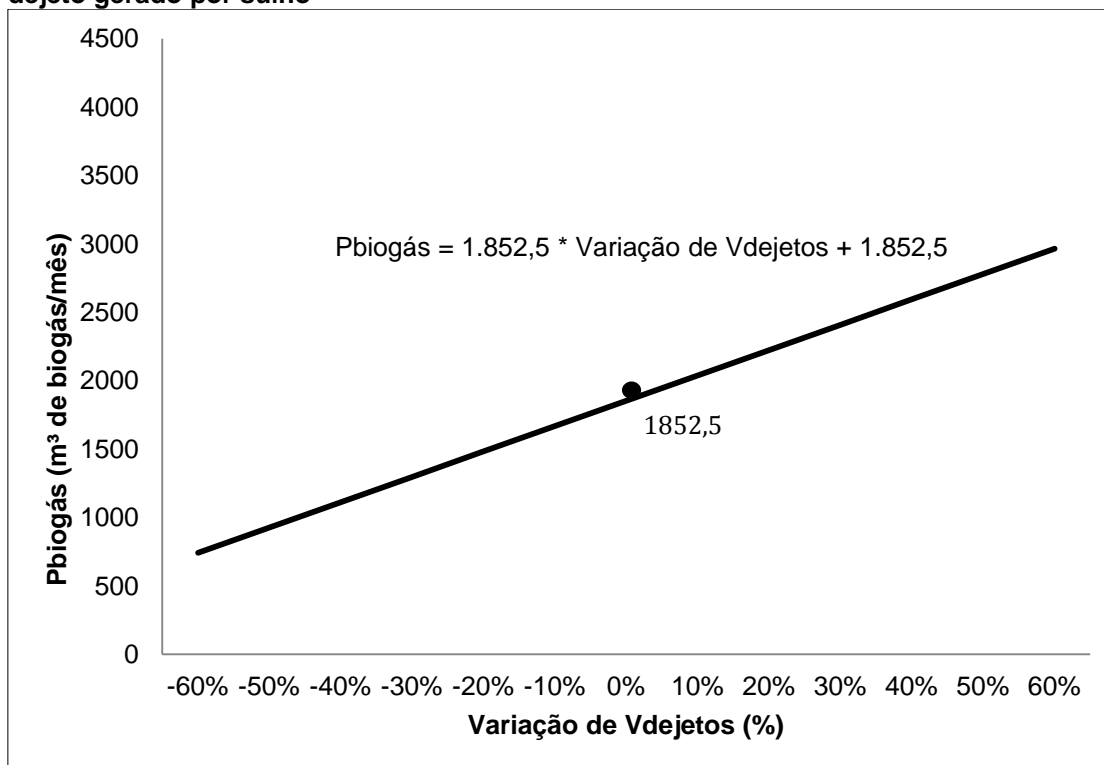
A energia elétrica gerada, neste caso, possui valor mínimo de 1.074,5 kWh/mês e alcança até 4.297,8 kWh/mês. Visto que a propriedade em questão possui um consumo de 1.000 kWh/mês para a atividade suinícola, como determinado na seção de caracterização da unidade suinícola produtiva de referência, percebe-se que no caso da Tabela 14, a energia gerada pelo biogás supriria a necessidade mensal de energia elétrica para esta atividade, até mesmo no valor mínimo encontrado.

Observa-se que não é seguro para o produtor utilizar apenas o número de suínos e um valor médio de produção de dejetos para calcular a capacidade do biodigestor e a produção de biogás e energia.

Portanto, mensurar adequadamente as quantidades de dejetos gerados pelos suínos é fundamental para tornar mais precisa a projeção da capacidade de geração e, conseqüentemente, do retorno do investimento, e mesmo da estrutura produtiva a ser implantada.

O Gráfico 2 ilustra a sensibilidade presente na variação dos valores de $V_{dejetos}$ da Tabela 14 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação de $V_{dejetos}$ - Volume de Dejeito gerado por suíno diariamente, para a variável dependente: $P_{biogás}$.

Gráfico 2 - Volume de biogás produzido mensalmente com variação de Vdejetos - Volume de dejetos gerado por suíno



Fonte: Autoria Própria (2018)

O coeficiente 1.852,5 representa a sensibilidade da variação percentual de Vdejetos em relação à estimativa de biogás produzido mensalmente na propriedade. Ou seja, para cada unidade percentual de variação no valor de Vdejetos obtém-se a variação de 18,5m³ de biogás na produção mensal.

Percebe-se que o valor do coeficiente da equação é o valor da produção de biogás do cenário base. E que no caso do intervalo considerado para os valores de Vdejetos, o espectro de variação desta variável é de -60% a 60%.

Caso fossem considerados os valores de Vdejetos ao invés da variação percentual, a equação a ser analisada seria: $P_{biogás} = 195 * V_{dejetos} - 4,4$. Esta equação resulta em valores aproximados de Pbiogás.

O coeficiente desta equação, representa a sensibilidade da variação dos valores de Vdejetos em relação à estimativa de biogás produzido mensalmente na propriedade. Dessa forma, para cada litro de dejetos produzido diariamente por animal obtém-se a variação de 195 m³ de biogás na produção mensal.

4.3.2 Variação do Índice K1 - Volume de Biogás Produzido por Dejetos

Para se obter os resultados de Pbiogás apresentados na Tabela 15, os valores utilizados para K1 na equação 2 - Quantidade mensal de biogás produzido - estão em um intervalo que varia até 180% acima e 90% abaixo do valor do cenário base de 0,013 m³ de biogás produzido por kg de dejetos.

A variação do Índice K1 de Produção de Biogás por Dejetos representa uma variação tanto na quantidade de Sólidos Voláteis na composição do dejetos quanto no índice K2 de produção de biogás em m³ por kg de sólido volátil.

Esta variação contém parte do intervalo de 0,001 a 0,054 m³ de biogás por Kg de dejetos suíno, conforme levantado na bibliografia e identificado na Tabela 11 – Índice K1 de produção biogás, com base em valores de K2 de produção de biogás por sólidos voláteis e de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos.

Foram encontrados os limites inferior e superior, do conjunto dos valores calculados de Índice K1 de produção de biogás por dejetos, para identificar possíveis outliers, valores que são atípicos se comparados ao restante dos dados do conjunto (TUKEY, 1977).

De acordo com o procedimento padrão, proposto por Tukey (1977), para identificação dos limites de outliers, o limite inferior é encontrado a partir da subtração da média do conjunto de dados com a amplitude interquartílica (diferença entre 3º e 1º quartil) multiplicada por 1,5. Já o limite superior é encontrado a partir da soma da média do conjunto de dados com a amplitude interquartílica (diferença entre 3º e 1º quartil) multiplicada por 1,5.

Após realizados estes cálculos, para o conjunto de valores calculados de Índice K1 de produção de biogás por dejetos, de 0,001 a 0,054 m³ de biogás/kg de dejetos, o limite inferior encontrado é de -0,018, e o limite superior, de 0,043.

Dessa forma, observa-se que os valores de 0,043 e 0,054 m³ de biogás por Kg de dejetos estão, respectivamente, em cima e acima do limite superior, do intervalo de dados expostos na Tabela 11 – Índice K1 de produção biogás, com base em valores de K2 de produção de biogás por sólidos voláteis e de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos.

Estes valores tratam-se de outliers que podem levar a conclusões equivocadas (TRIOLA, 2012) nas análises. Por esse motivo decidiu-se eliminá-los do intervalo utilizado, do conjunto de dados. Sendo assim, o intervalo de variação de K1 utilizado na Tabela 15 é de 0,0013 a 0,0364 m³ de biogás/kg de dejetos. Não

existem outliers fora do limite inferior, visto que este é um valor negativo.

Além disso, foi considerado para o cálculo de Pbiogás, o valor Vdejetos, do cenário base, de 9,5 litros de dejetos por suíno gerados diariamente.

Dessa forma, avalia-se o impacto da variação dos parâmetros, referentes ao índice K1 de volume de biogás produzido por dejetos, nos resultados obtidos pelo cálculo da produção de biogás na propriedade.

São demonstrados também, na Tabela 15, os resultados obtidos com a equação 8 - Energia Elétrica Gerada - multiplicando-se o índice de 1,45 kWh/mês pelos valores de Pbiogás calculados e expostos na mesma tabela.

Neste caso também assumiu-se para os cálculos que 1Kg de dejetos é equivalente a 1L de dejetos

Tabela 15 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a Variação do índice K1 de produção de biogás por dejetos suíno

Variação de K1 em relação ao cenário base	K1 (m3 de biogás/Kg de dejetos)	Pbiogás (m³ de biogás/mês)	Energia Elétrica Gerada (kWh/mês)
-90%	0,0013	185,3	268,6
-60%	0,0052	741,0	1.074,5
-30%	0,0091	1.296,8	1.880,3
0%	0,013	1.852,5	2.686,1
30%	0,0169	2.408,3	3.492,0
60%	0,0208	2.964,0	4.297,8
90%	0,0247	3.519,8	5.103,6
120%	0,0286	4.075,5	5.909,5
150%	0,0325	4.631,3	6.715,3
180%	0,0364	5.178,0	7.521,2

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Quanto aos resultados de Pbiogás, percebe-se que entre o menor e o maior valor possível de produção de biogás na propriedade há uma diferença de 5001,7 m³ de biogás por mês.

Esta diferença de valor é 2,25 vezes maior do que a encontrada na Tabela 14 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação de Vdejetos - Volume de Dejeito gerado por suíno diariamente.

O valor mínimo de Pbiogás na Tabela 15 é quatro vezes menor que o valor mínimo da Tabela 14. Enquanto o valor máximo é 1,75 vezes maior que o valor máximo da Tabela 14.

Estas diferenças ocorrem pois o espectro de variação em relação ao cenário base, de -90% a 180%, referente aos valores de K1 da Tabela 15 é maior do que dos valores referentes a Vdejetos apresentados na Tabela 14.

Pode-se afirmar que a possibilidade de erro ao elaborar e verificar a viabilidade de um projeto de implantação de biodigestor em uma propriedade é maior quando se possui espectro maior de variação.

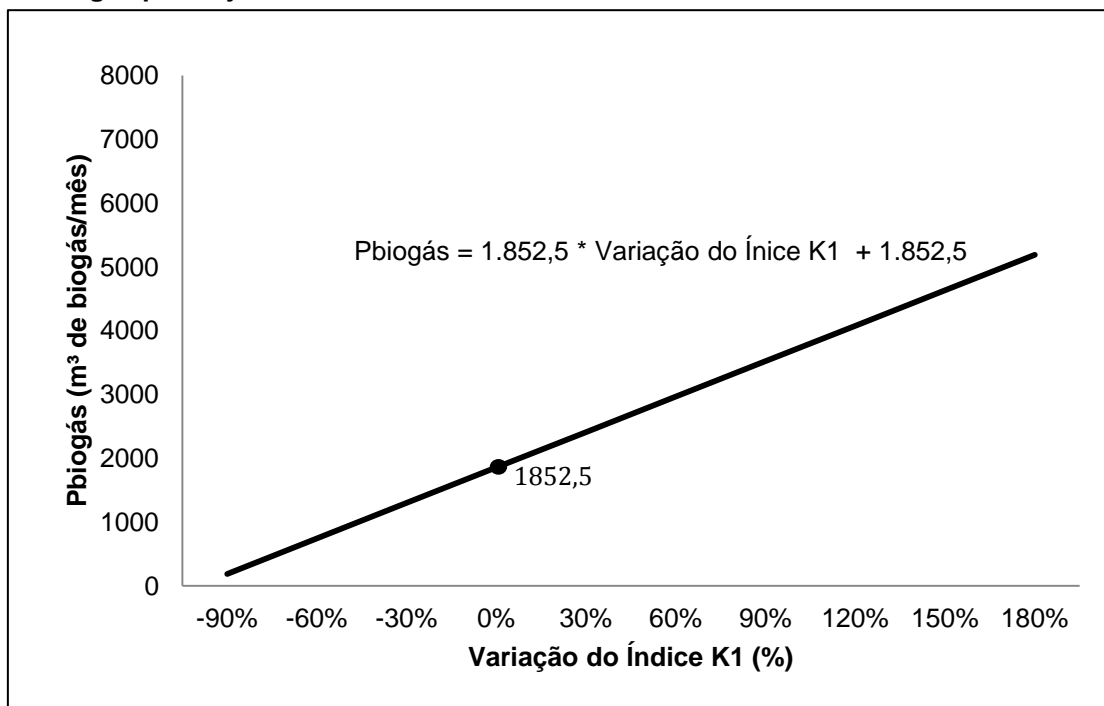
Percebe-se que os resultados de geração de energia elétrica irão acompanhar as variações percentuais de Produção de Biogás da Tabela 18. Ou seja, os valores de Pbiogás e de energia elétrica gerada são proporcionais.

A energia elétrica gerada, neste caso, possui valor mínimo de 268,6 kWh/mês e alcança até 7.521,2 kWh/mês. Visto que a propriedade em questão possui um consumo de 1.000 kWh/mês para a atividade suinícola, como determinado na seção de caracterização da unidade suinícola produtiva de referência, percebe-se que no caso da Tabela 15, a energia gerada pelo biogás não supriria a necessidade mensal de energia elétrica da atividade, no valor mínimo encontrado.

Portanto, nota-se que a mensuração correta do Índice K1 é fundamental para tornar mais precisa a projeção tanto da produção de biogás quanto da geração de energia elétrica a partir do biogás.

O Gráfico 3 ilustra a sensibilidade presente na variação dos valores de K1 da Tabela 15 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a Variação do índice K1 de produção de biogás por dejeito suíno - para a variável dependente: Pbiogás.

Gráfico 3 - Volume de biogás produzido mensalmente com variação do índice K1 - Produção de Biogás por Dejetos



Fonte: Autoria Própria (2017)

A equação encontrada no Gráfico 3 é a mesma demonstrada no Gráfico 2. O que muda nestes gráficos é o espectro de variação dos parâmetros utilizados para o cálculo de Pbiogás.

O valor do coeficiente, de 1.852,5, também representa, neste caso, a sensibilidade da variação percentual do índice K1 em relação à estimativa de biogás produzido mensalmente na propriedade. Ou seja, para cada unidade percentual de variação no valor do índice K1 obtém-se a variação de 18,5 m³ de biogás na produção mensal.

Percebe-se que o valor do coeficiente da equação é o resultado da produção de biogás do cenário base e que nesse caso o espectro de variação é de -90% a 180%.

Caso fossem considerados os valores do índice K1 ao invés da variação percentual, a equação a ser analisada seria: $P_{\text{biogás}} = 142.500 * K1$.

O coeficiente desta equação, representa a sensibilidade da variação dos valores de K1 em relação à estimativa de biogás produzido mensalmente na propriedade. Dessa forma, para cada m³ de biogás produzido por Kg de dejetos suíno, obtém-se a variação de 142.500 m³ de biogás na produção mensal.

Portanto, a sensibilidade das variáveis Vdejetos e K1 pode ser analisada tanto com a equação que utiliza a variação percentual quanto com a equação que utiliza os valores das variáveis.

Quando a sensibilidade é analisada pela variação percentual percebe-se que o índice K1 é a variável que possui maior sensibilidade, pois esta apresenta um espectro maior, o que leva à resultados mais discrepantes de Pbiogás e consequentemente de energia elétrica gerada.

Se analisada a sensibilidade em relação à variação dos valores de Vdejetos e K1, observa-se novamente que o índice K1 é a variável que possui maior sensibilidade, pois apresenta a equação com maior coeficiente.

4.3.3 Variação de SV - Quantidade de Sólidos Voláteis por Kg de Dejeto

Os valores encontrados na literatura do índice K2 de Produção de biogás por Kg de Sólidos voláteis possuem uma variação inferior à variação presente nos dados de SV - Quantidade de Sólidos Voláteis por Kg de dejeto, como pode ser observado na Tabela 11 – Índice K1 de produção biogás, com base em valores de K2 de produção de biogás por sólidos voláteis e de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos.

A fim de estimar a produção de biogás em função apenas da variação de quantidade de Sólidos Voláteis por Kg de dejeto, optou-se por utilizar a média do Índice K2 como um valor fixo para o cálculo do Índice K1.

A Tabela 16 apresenta os resultados encontrados, utilizando a equação 3 - Índice de eficiência de produção de biogás por quantidade de Dejeto - ao se utilizar os dados da Tabela 4 – Quantidade de Sólidos Voláteis por dejetos de suínos em fase de terminação, por diferentes autores, e o valor de K2 médio, de 0,487 m³ de biogás por Kg de Sólidos Voláteis.

Tabela 16 - Índice K1, produção de biogás por dejetos de suínos, com base em valores de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos e valor médio de K2 de 0,487 de produção de biogás por sólidos voláteis

K2 (m ³ de biogás/ Kg de sólidos voláteis)	SV (Kg de sólidos voláteis/Kg de dejetos)					
	0,0035	0,0054	0,008	0,015	0,054	0,068
Produção de biogás para diferentes concentrações de SV	0,002	0,003	0,004	0,007	0,026	0,033

Fonte: Aatoria Própria (2018)

De acordo com os resultados demonstrados na Tabela 16, foi encontrado um intervalo que varia entre 0,002 e 0,033 m³de biogás por Kg de Dejeto.

Estes valores quando comparados com o intervalo de 0,001 a 0,054 m³ de biogás por Kg de Dejeto demonstrados na Tabela 11 – Índice K1 de produção biogás, com base em valores de K2 de produção de biogás por sólidos voláteis e de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos, apresentam um menor espectro de variação, porém ainda expressivo.

Entretanto, quando são retirados os outliers deste intervalo, encontrados anteriormente, 0,043 e 0,054 m³ de biogás por kg de dejetos, o espectro de variação resultante do cálculo de K1 se torna praticamente o mesmo do utilizado na Tabela 15 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a Variação do índice K1 de produção de biogás por dejetos suíno, de 0,0013 à 0,0364 m³ de biogás por Kg de dejetos.

A Tabela 17 auxilia na análise dos resultados de produção de biogás e geração de energia elétrica, devido à variação do índice K1 de Produção Biogás por dejetos calculado, quando o índice K2 de Produção de biogás por Kg de Sólidos voláteis, é fixado em um valor médio. Ou seja, nesta análise o foco está na variação da quantidade de Sólidos Voláteis por Kg de dejetos.

O valor base utilizado para variação na Tabela 17, 0,012 m³ de biogás por Kg de dejetos, trata-se da média dos valores do índice K1 da Tabela 16 - Índice K1, produção de biogás por dejetos de suínos, com base em valores de SV de quantidade de sólidos voláteis por dejetos e valor médio de K2 de 0,487 de produção de biogás por sólidos voláteis.

Percebe-se que este valor difere do valor de 0,013 m³ de biogás por Kg de dejetos determinado no cenário base.

Tabela 17- Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação do índice K1, produção de biogás por dejetos suíno, com base em valores de SV, quantidade de sólidos voláteis por dejetos, valor médio de K2, produção de biogás por sólidos voláteis

Varição de K1 em relação ao valor base	K1 (m³ de biogás/Kg de dejetos)	Pbiogás (m³ de biogás/mês)	Energia Elétrica Gerada (kWh/mês)
-90%	0,0012	171,0	248,0
-60%	0,0048	684,0	991,8
-30%	0,0084	1.197,0	1.735,7
0%	0,0120	1.710,0	2.479,5
30%	0,0156	2.223,0	3.223,4
60%	0,0192	2.736,0	3.967,2
90%	0,0228	3.249,0	4.711,1
120%	0,0264	3.762,0	5.454,9
150%	0,0300	4.275,0	6.198,8

Fonte: Autoria Própria (2018)

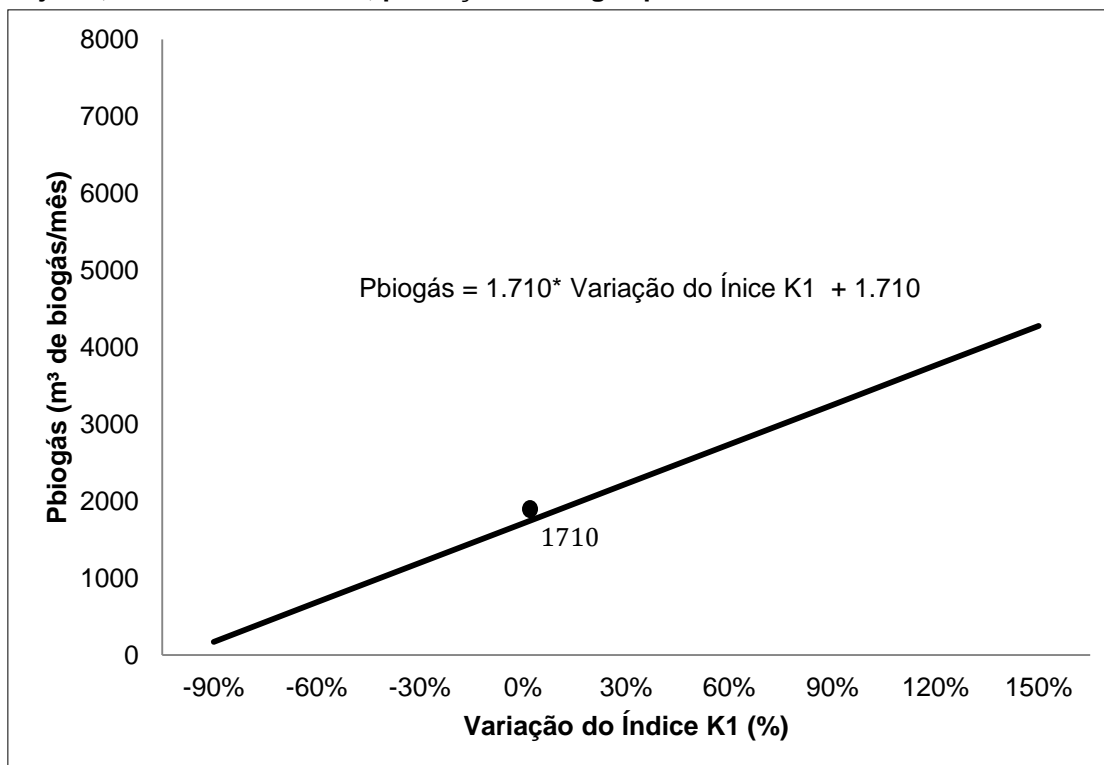
O espectro de variação percentual da Tabela 17 em relação ao valor base é menor do que o utilizado na Tabela 15 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a Variação do índice K1 de produção de biogás por dejetos suíno.

Ainda assim, somente a variação dos dados de SV por Kg de dejetos já causa uma discrepância nos resultados de produção de biogás e energia elétrica gerada.

Desse modo, ressalta-se a importância de se conhecer as características dos Sólidos Voláteis presentes nos dejetos para verificar a viabilidade de um projeto de implantação de biodigestor em uma propriedade.

Ao realizar esta análise, fixando o valor de K2 em 0,487 m³ de biogás por kg de Sólido Volátil, deve-se estar atento às características da propriedade em estudo, como por exemplo, a existência de diferentes espécies de animais ou tipos de criação. Estas particularidades mudam o tipo de arraçoamento, de biodigestor, e conseqüentemente, o valor de K2 pode mudar significativamente.

Gráfico 4- Volume de biogás produzido mensalmente com variação do índice K1, produção de biogás por dejetos suíno, com base em valores de SV, quantidade de sólidos voláteis por dejetos, e valor médio de K2, produção de biogás por sólidos voláteis



Fonte: Autoria Própria (2018)

A equação encontrada no Gráfico 4 é diferente das equações demonstradas nos Gráficos 2 - Volume de biogás produzido mensalmente com variação de Vdejetos - Volume de dejetos gerado por suíno, e 3 - Volume de biogás produzido mensalmente com variação do índice K1 - Produção de Biogás por Dejetos.

A equação neste caso difere das outras, devido ao valor base utilizado ser de 0,012 ao invés de 0,013 m³ de biogás/Kg de dejetos.

O valor do coeficiente, 1.710, representa a sensibilidade da variação percentual do índice K1 em relação à estimativa de biogás produzido mensalmente na propriedade. Ou seja, para cada unidade percentual de variação no valor do índice K1 obtém-se a variação de 17,1m³ de biogás na produção mensal.

Pode-se afirmar que o coeficiente da equação é menor devido ao fato de que o K2 utilizado no cálculo de K1, neste caso, é um valor fixo, e sendo assim, a variação do índice K1 é influenciada apenas pela variação dos valores de SV.

Percebe-se que o valor do coeficiente da equação é o resultado da produção de biogás do valor base e que nesse caso o espectro de variação é de -90% a 150%.

Caso fossem considerados os valores do índice K1 calculado com K2 fixo, ao invés da variação percentual, a equação a ser analisada seria: $P_{\text{biogás}} = 142.500 \cdot K1$. Percebe-se que a equação seria a mesma do que a encontrada no caso em que K1 é calculado com valores variáveis de K2.

O coeficiente desta equação representa a sensibilidade da variação dos valores de K1 em relação à estimativa de biogás produzido mensalmente na propriedade. Dessa forma, para cada m^3 de biogás produzido por Kg de dejetos suíno, obtém-se a variação de 142.500 m^3 de biogás na produção mensal.

Portanto, a sensibilidade das variáveis V_{dejetos} e K1 pode ser analisada tanto com a equação que utiliza a variação percentual quanto com a equação que utiliza os valores das variáveis.

Quando a sensibilidade é analisada pela variação percentual percebe-se neste caso, com o índice K1 calculado com K2 fixo e valores variáveis de SV, que o índice K1 ainda é a variável que possui maior sensibilidade, pois esta apresenta um espectro maior do que o utilizado para os valores de V_{dejetos} , o que leva à resultados mais discrepantes de $P_{\text{biogás}}$ e conseqüentemente de energia elétrica gerada.

Se analisada a sensibilidade em relação à variação dos valores de K1 calculado com K2 fixo e valores variáveis de SV, a análise continua a mesma, visto que o coeficiente é o mesmo na equação deste caso. Ou seja, observa-se novamente que o índice K1 possui maior sensibilidade se comparado a V_{dejetos} , pois apresenta a equação com maior coeficiente.

É importante que se conheça e se meça ambas as variáveis analisadas, V_{dejetos} e K1, por terem um alto impacto na análise de resultados de implantação de um biodigestor e na tomada de decisão em uma propriedade.

Observa-se que o índice K1 é a mais sensível das duas variáveis analisadas, por apresentar um espectro de variação mais amplo. Os resultados obtidos, tanto de $P_{\text{biogás}}$ quanto de Energia Elétrica gerada, são proporcionais a esta variação.

Ao avaliar o índice K1 com valores variáveis de SV e um valor fixo do índice K2, percebe-se que o espectro de variação é aproximadamente o mesmo quando K1 é calculado com valores de K2 e SV variáveis.

Sendo assim, ao se avaliar a viabilidade de um projeto de implantação de biodigestor, deve-se estar atento à fonte de obtenção da quantidade de Sólidos

Voláteis presentes nos dejetos a serem utilizados.

Quanto à energia elétrica gerada a partir do biogás, ao se comparar o valor máximo encontrado nas Tabela 14 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação de Vdejetos - Volume de Dejeito gerado por suíno diariamente e Tabela 15 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a Variação do índice K1 de produção de biogás por dejeito suíno, com o valor determinado de consumo referente à atividade suinícola da propriedade, de 1000 kWh/mês, em ambos os casos, este valor é ultrapassado.

Entretanto, quando se compara os valores mínimos encontrados, no caso da Tabela 15 não é suprido o consumo referente à atividade suinícola da propriedade, de 1000 kWh/mês.

Além disso, na Tabela 17 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação do índice K1, produção de biogás por dejeito suíno, com base em valores de SV, quantidade de sólidos voláteis por dejetos, valor médio de K2, produção de biogás por sólidos voláteis, os dois valores associados ao menor desempenho não suprem sequer a demanda de energia, de 1.000 kWh/mês da atividade suinícola da propriedade.

A definição do índice de geração de energia elétrica com o valor de 1,45 kWh/m³ de biogás é um fator que pode ser alterado dependendo do motor gerador escolhido. E, portanto, ao se escolher outro conjunto motor-gerador com índice de eficiência diferente, os resultados obtidos também se alteram.

É preciso cautela com as projeções de energia elétrica gerada a partir do biogás, pois ao utilizar estes resultados como indicativo de viabilidade de projeto de implantação de biodigestor, é necessário que os valores tanto de produção de biogás quanto do índice de geração de energia elétrica estejam de acordo com a realidade da propriedade.

Como visto no referencial bibliográfico do presente trabalho, existe outra forma de se obter projeções da geração de energia elétrica. Esta forma utiliza a equação 5, a qual se baseia na quantidade de metano presente no biogás e no índice de geração de energia elétrica a partir desta quantidade.

Entretanto, optou-se por focar nas análises da projeção de energia elétrica gerada a partir dos índices K1, K2, e SV, pois estes dados foram encontrados em maior quantidade na literatura.

4.4 VARIAÇÃO COMBINADA - VDEJETOS E K1

Neste tópico realiza-se uma análise das variáveis Vdejetos e K1 a partir da variação combinada de até 20% acima e abaixo dos valores determinados no cenário base. Ao se variar simultaneamente Vdejetos e K1 são obtidos outros resultados de Pbiogás e Energia Elétrica gerada. Estes resultados podem ser observados na Tabela 18.

É importante que se faça essa análise com a variação simultânea dos dois parâmetros, visto que dessa forma se obtém um cenário otimista no qual as duas variáveis aumentam simultaneamente e pessimista no qual ocorre o contrário.

Tabela 18 - Produção de biogás e energia elétrica gerada considerando a variação combinada dos valores do índice K1, produção de biogás por dejetos suíno, e de Vdejetos - Volume de Dejetos gerado por suíno diariamente

Varição em relação ao cenário base	Vdejetos (litro/animal/dia)	K1 (m³ de biogás/Kg de dejetos)	Pbiogás (m³ de biogás/mês)	Energia Elétrica Gerada (kWh/mês)
-20%	7,60	0,010	1.185,6	1.719,1
-15%	8,08	0,011	1.338,4	1.940,7
-10%	8,55	0,012	1.500,5	2.175,8
-5%	9,03	0,012	1.671,9	2.424,2
0%	9,50	0,013	1.852,5	2.686,1
5%	9,98	0,014	2.042,4	2.961,5
10%	10,45	0,014	2.241,5	3.250,2
15%	10,93	0,015	2.449,9	3.552,4
20%	11,40	0,016	2.667,6	3.868,0

Fonte: Aatoria Própria (2018)

Com a variação de 20% acima e abaixo do cenário base, dos valores de Vdejetos e K1, de forma simultânea, os resultados mínimo e máximo obtidos de Pbiogás e Energia Elétrica Gerada possuem entre si a diferença de 2,25 vezes.

Enquanto ao se variar 20% acima e abaixo dos valores somente de Vdejetos,

como na Tabela 14 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a variação de Vdejetos - Volume de Dejeito gerado por suíno diariamente, e somente de K1 como na Tabela 15 - Produção de biogás e energia elétrica considerando a Variação do índice K1 de produção de biogás por dejeito suíno, esta diferença é de 1,5 vezes.

Ou seja, os resultados demonstrados na Tabela 18, acumulam tanto as variações de Vdejetos quanto de K1.

Reafirma-se novamente com esta análise simultânea que deve-se ter confiabilidade nos parâmetros utilizados para a realização de projeções.

Entretanto, percebe-se que neste caso, mesmo ao acumular estas variações, a energia elétrica gerada ainda supriria o consumo da atividade suinícola quando Vdejetos e K1 estão 20% abaixo do valor do cenário base.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suinocultura é uma atividade pecuária com alto potencial poluidor devido à geração de dejetos. Para o tratamento desses dejetos, uma das alternativas avaliadas pelos produtores tem sido o biodigestor, o qual representa não apenas ganhos ambientais, mas também econômicos a partir da produção de biogás e geração de energia elétrica.

Ao se avaliar a viabilidade da implementação de um biodigestor como alternativa de geração de energia e renda, e não apenas como um sistema de tratamento de dejetos, os produtores dependem de parâmetros de estudos realizados com esta temática. Portanto, a confiabilidade destes parâmetros e a adequação deles à realidade da propriedade são de suma importância para o sucesso na tomada de decisão do produtor.

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo geral identificar o impacto que a variação de parâmetros referentes à utilização de biodigestor na suinocultura possui sobre projeções de produção de biogás e de geração de energia elétrica.

Com o comparativo traçado a partir dos valores encontrados na literatura referentes ao volume de dejetos gerado por suíno diariamente, foi observado que o espectro de variação deste parâmetro é de aproximadamente 60% acima e abaixo de seu valor médio.

Em relação ao parâmetro de índice de produção de biogás a partir do dejetos, foi possível identificar que na literatura estudada, o mesmo apresenta uma variação de aproximadamente -90% a 180% de seu valor médio.

Estas variações nos parâmetros afetam os resultados de projeções de produção de biogás e, conseqüentemente, de energia elétrica gerada. Há uma variação de 18,5m³ de biogás para cada 1% alterado no valor de ambos os parâmetros.

Quanto à energia elétrica gerada, ao se variar simultaneamente os parâmetros, 20% acima e abaixo de seus valores médios, obteve-se uma diferença de 2.148,9 kWh/mês entre o valor mínimo e máximo encontrados. Enquanto, ao se avaliar os parâmetros separadamente, observou-se uma amplitude de 3.223

kWh/mês ao se variar o volume diário de dejetos, e de 7.252,6 kWh/mês ao se variar o índice de produção de biogás por dejetos.

Dessa forma, fica evidente que o parâmetro de produção de biogás por dejetos, por apresentar um maior espectro de variação, é o mais sensível. Quando não utilizado o valor ideal para a propriedade em questão, este parâmetro pode conduzir à decisões equivocadas.

Quando analisado o efeito que a variação da quantidade de sólidos voláteis presentes nos dejetos possui sobre o índice de produção de biogás por dejetos, percebe-se que esta quantidade afeta os resultados obtidos de produção de biogás e geração de energia elétrica. Somente sua variação implica em um espectro de - 90% a 150% do valor médio do índice de produção de biogás.

Portanto, a mensuração correta de sólidos voláteis presentes nos dejetos é primordial para o sucesso das projeções. Esta pode ser realizada de maneira simples, laboratorialmente.

Deste modo, o presente trabalho demonstra a importância de assegurar a confiabilidade dos parâmetros utilizados em projetos voltados para o aproveitamento energético dos resíduos da atividade suinícola. O produtor rural deve trabalhar com parâmetros condizentes com sua realidade, respeitando as particularidades da propriedade considerada.

REFERÊNCIAS

AGROECOLOGIA. **Tipos de Biodigestores**. Biodigestor. 2014. Disponível em: <<http://agroecologiasustentabilidade.blogspot.com.br>>. Acesso em: 12 jan. 2018.

ANEEL. **Geração Distribuída**. Informações Técnicas. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false> . Acesso em: 6 mai. 2017.

ANGONESE, André R. *et al.* Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Eng. Agrícola Jaboticabal**. Jaboticabal (SP), v.27, n.3, p. 648-657. dez. 2007.

ASSIS, F. O.; MURATORI, A. M. Poluição hídrica por dejetos de suínos: um estudo de caso na área rural do município de quilombo, Santa Catarina. Curitiba. **Revista Geografar**, v. 2, n. 1, p.42-59, 30 jul. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNO. Edição especial do Mapeamento da Suinocultura. **Revista da suinocultura**. Brasília, v. 5, n. 22, 21 mar. 2017.

AVACI, A. B.; *et al.* Financial economic scenario for the microgeneration of electric energy from swine culture-originated biogas. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Cascavel, v.25, p. 272-276. 20 abr. 2013.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2011.

BELLI FILHO, P.; *et al.* Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 166-170, abr. 2001.

BEZERRA, S. A. Gestão ambiental da propriedade suinícola: um modelo baseado em 307 um biosistema integrado. **Revista Ciências Empresariais da UNIPAR**, v.6, p.153-186, 2005.

BP, British Petroleum. **BP Statistical Review of World Energy**.2014. Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_de/PDFs/brochures/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>Acessoem: 1 mai. 2017.

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Brasília, 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 1 mai. 2017.

CANCELIER, Adriano *et al.* Avaliação da produção de biogás de dejetos de suínos utilizando a metodologia de superfície de resposta. **Eng. Sanit. Ambient.** Santa Maria (RS), v.20, n.2, p. 209-217. abr. 2015.

CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; SILVA, C. M. Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**: Editora Unijuí, Ijuí (RS), v. 13, n. 32, p.127-145, 2015.

CERVI, R. G.; *et al.* Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Eng. Agrícola. Jaboticabal**. Jaboticabal (SP), v.30, n.5, p. 831-844. set. 2010.

CHERUBINI, Edivan *et al.* Life cycle assessment of swine production in Brazil: a comparison of four manure management systems. **Journal Of Cleaner Production**. Florianópolis, p. 68-77. 13 out. 2014.

CHERUBINI, Edivan. **Incertezas na avaliação do ciclo de vida: um estudo de caso na suinocultura**. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2015. 246 f.

DAMOVICH, J.; *et al.* “Diagnostico ambiental em torno da suinocultura na bacia do rio Toledo e identificação do potencial econômico dos dejetos.” V Encontro de Economia Paranaense – ECOPAR. **Anais...** Curitiba. 2007.

DARTORA, *et al.*; **Manejo dos dejetos de suínos, Boletim Técnico Informativo de Pesquisa**, Embrapa Suínos e Aves / EMATER-RS. Impresso EMATER-RS, Porto Alegre, p. 41, 1998a.

DARTORA, V. *et al.* **Manejo de dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, v. 7, n. 11, 1998b.

DONAIRE, Denis. **Gestão Ambiental na Empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

DOTTO, R. B.; WOLFF, D. B. Biodigestão e Produção de Biogás Utilizando Dejetos Bovinos. **Ciências Naturais e Tecnológicas**. Santa Maria (RS), p. 13-26, 18 dez. 2012.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa 11:Suinocultura**. Florianópolis, 37 p. 2014.

GASPAR, R. M. A. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. 2003. 119p. Dissertação (Engenharia de Produção) - UFSC.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008

HART, S.L. A natural-resource-based view of the firm. **Academy of Management Review**, v. 20, n. 4, p. 986-1014. 1995.

HEIDEN, F. *et al.* Indicadores da evolução do setor agrícola catarinense - dados preliminares. Grupo de limpeza do LAC, agroindicadores. Disponível em: <<http://cepa.epagri.sc.gov.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2017.

HUANG, W.; *et al.* Low-temperature hydrothermal pretreatment followed by dry anaerobic digestion: A sustainable strategy for manure waste management regarding energy recovery and nutrients availability. **Waste Management**, v.70, p. 255-262, 2017.

HULLU, *et al.* **Comparing different biogas upgrading techniques**. Eindhoven University of Technology; 2008.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Sistema de Produção de Suínos**. [20--?]. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/pagina-1042.html>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFICA E ESTATISTICA (IBGE). 2017. Indicadores IBGE – Estatística da Produção Pecuária. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_201604caderno.pdf> Acesso em: 1 mai. 2017.

JAWAHIR, L. S.; BRADLEY, Ryan. Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. **Cirp**. Kentucky, v.40, p. 103-108. 4 set. 2016.

JUNGES, D. M.; KLEINSCHMITT, S. C.; SHIKIDA, P. F. A.; SILVA, J. R. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no Município de Toledo (PR). **Revista de Economia**, v. 35, n. 1, p. 7-30, 2009.

KERKHOFF, S.; *et al.* Potencial teórico de produção de biogás e energia elétrica a partir da biomassa residual da suinocultura da região oeste do Paraná. In: CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL. 10., 2015, São Paulo. Anais... São Paulo: USP - São Paulo, 2015. p. 1-10.

KONZEN, E. A. 1983. **Manejo e utilização de dejetos de suínos**. Concórdia - EMBRAPA-CNPQA. (Circular Técnica, 6), 32p.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M.M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de Manejo e Tratamento de Dejetos Suínos Estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo : Atlas, 2003.

LEITE, J.; FERRAZ, T. Autossuficiência em energia elétrica em Unidades de Produção e Terminação de Suínos. 2016. 108 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

LIMA, A.M.F. **Avaliação do Ciclo de vida no Brasil: inserção e perspectivas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo). Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador-BA.

LINDEMEYER, Ricardo Matsukura. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso do biogás como fonte de energia elétrica**. 2008. 105 folhas. Trabalho de Conclusão de Estágio (Graduação em Administração). Curso de Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília, 2016. 44 p.

MARTINS, P. S. *et al.* Gestão ambiental e estratégia empresarial em pequenas e médias empresas: um estudo comparativo de casos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 2, p.225-234, jun. 2015.

MARTINS, F. M. OLIVEIRA, P. A. V. de. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Eng. Agríc**, vol.31, n.3, p.477-486. 2011.

MENEZES, J. F. S.; *et al.* Aproveitamento de resíduos orgânicos para a produção de grãos em sistema de plantio direto e avaliação do impacto ambiental. **Revista Plantio Direto**, v. 9, n. 1, p. 30-35, 2003.

MASULLO, Andrea. Organic wastes management in a circular economy approach: Rebuilding the link between urban and rural areas. **Ecological Engineering**. Itália, v.101, p. 84-90. 2 jan. 2017.

MEYER, A. K. P.; EHIMEN, E. A.; HOLM-NIELSEN, J. B. Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. **Biomass And Bioenergy**, v. 111, p.154-164, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balanco Energético Nacional ano base 2015**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf> Acesso em: 1 mai. 2017.

MIRANDA, C. R. de; ZARDO, A. O.; GOSMANN, H. A. **Instrução Técnica para o Suinocultor 11**:Uso de dejetos de suínos na agricultura. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2 p. 1999.

MUEHLING, A.J. Management of swine wastes. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNOS E AVES, 1995, Campinas. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1995. p.135-51

NASCIMENTO, Sebastião. **Porcos replicados**. 2015. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/GloboRural/0,6993,EEC1708359-1484,00.html>>.

Acesso em: 18 jun. 2017.

NESHAT, Soheil A.; *et al.* Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p.308-322, nov. 2017.

NOGUEIRA, Luis Augusto Horta. **Ciências Ambientais para Engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2015.

ODS (OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL). O que são os ODS? 2015. Disponível em: <<http://www.estrategiaods.org.br/o-que-sao-os-ods/>>. Acesso em: 21 mai. 2017.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de Manejo e Utilização dos Dejetos de Suínos**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 188p, 1993.

OLIVEIRA, P.A.V. de; HIGARASHI, M.M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006.

OLIVEIRA, Paulo Aramando V. **Projeto de biodigestor para produção de biogás em sistema de produção de suínos**. 2008. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigo&cod_artigo=263>. Acesso em 20 nov. 2017.

PALHARES, J. C. P. Biodigestores, a solução? **Suinocultura Industrial**, Concórdia, v.30, n. 208, p.12-14,16,18-22, 2007.

PERDOMO, C. C. Alternativas para o manejo e tratamento de dejetos suínos. **Suinocultura Industrial**, Concórdia(SC), v.152, n.23, p.16-26, 2001.

PERDOMO, C. C. **Sugestões para o manejo, tratamento e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA, 1999. 2p. (EMBRAPA-CNPSA, Instrução Técnica para o Suinocultor).

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Metodologia sugerida para estimar o volume e a carga de poluentes gerados em uma granja de suínos**. Concórdia: Embrapa CNPSA. n.332, 6p., 2003.

PETERSSON, A., WELLINGER, A. **Technical report: Biogas Upgrading Technologies - Developments and Innovations.** IEA Bioenergy, Irealnd. 20p. 2009.

PINTO, L. P. *et al.* Levantamento de dados sobre os dejetos suínos e suas características. **Revista Brasileira de Energias Renováveis.** Cascavel, v.3, p. 179-187. set. 2014.

PORTER, Michael E.; VAN DER LINDE, Claas. Green and competitive: ending the stalemate. **Harvard Business Review**, v. 73, n. 5, p. 120-34, 1995.

RIANO, B. GARCÍA-GONZÁLEZ, M. Greenhouse gas emissions of an on-farm swine manure treatment plant - Comparison with conventional storage in anaerobic tanks. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, p.542-548, 2015.

SANTOS, E. L. B.; NARDI JUNIOR, G.. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v. 4, n. 2, p.81-90, ago. 2013.

SANCHES, C.S. Gestão ambiental proativa. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 1, p. 76-87. 2000.

SCHERER, E. *et al.* **Boletim Técnico 79:**Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante. Florianópolis: EPAGRI, 46p, 1996.

SEBRAE. **Minha Empresa Sustentável:** Suinocultura. Centro Sebrae de Sustentabilidade – Cuiabá: 2016. 32 p. il.
SEBRAE. Saiba onde buscar apoio para Suinocultura. 2014.Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/saiba-onde-buscar-apoio-para-a-suinocultura,39089e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

SEIDEL, E. P; *et al.* Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá (PR), v. 32, n. 2, p. 113- 117, 2010.

SGANZERLA, E. **Biodigestor, uma solução.** Porto Alegre (RS), 1983.

SILVA, N. P.; FRANCISCO, A. C. Geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos: um estudo de caso em uma propriedade rural na região oeste do estado do Paraná, **Nucleus**, Ituverava (SP), v.7, n.2, p 65-82,out. 2010

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC); UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM (UNEP). **Life cycle management: a business guide to sustainability**. Genebra: SETAC; UNEP, 2007.

SOS SUÍNOS. **Informativo Técnico 66: Terminadores de Suínos**. 2017. Disponível em: <<http://www.sossuinos.com.br/Tecnicos/info66.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

SOUZA, C. F.; *et al.* Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres**, Viçosa (MG), v. 2, n. 56, p.128-133, jan. 2009.

SOUZA, J. C. P. V. B.; *et al.* **Sistema de produção de leitões baseado em planejamento, gestão e padrões operacionais**. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia (SC)., 114 p., 2013a.

SOUZA, S. N. M. de; *et al.* Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, Cascável(PR), v. 28, p.385-391, dez. 2013b.

STEINMETZ, R. L. R.; *et al.* Prospecção de contaminantes inorgânicos em fosfatos recuperados de dejetos de suínos. In: SYMPOSIUM ON AGRICULTURAL AND AGROINDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT, 3., 2013, São Pedro. **Anais...** Curitiba: Siger. p. 12 - 16.

TAKITANE, I.C. **Produção de dejetos e caracterização de possibilidades de aproveitamento em sistemas de produção de suínos com alta tecnologia no Estado de São Paulo**. 2001. 148 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TUKEY, J. W. **Exploratory data analysis**. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1977

USDA AMS. **Livestock, Poultry&Grain Market News**. Swine Reports. 2017. Disponível em: <<https://www.ams.usda.gov/market-news/swine-reports>>. Acesso em 5 mai 2017.

VIVAN, M. *et al.* Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.14, n.3, p. 320-325,2010.

VRIES, M. de; BOER. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. **Livestock Science**, v. 128, n. 1-3, p.1-11, mar. 2010.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H.. The history and current applications of the circular economy concept. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Davis, v.68, p. 825-833. 28 set. 2016.