

Estimativa do potencial de geração de biogás a partir  
de resíduos de animais: Estudo de caso de uma granja  
localizada em Videira/SC.

João Fernando Ferri da Silva

Florianópolis, 2018



João Fernando Ferri da Silva

**Estimativa do potencial de geração de biogás a partir de resíduos de animais: Estudo de caso de uma granja localizada em Videira/SC.**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Belli Filho

Coorientador: Dr. Ricardo Luis Radis Steinmetz

Florianópolis  
2018

da Silva, João Fernando Ferri

Estimativa do potencial de geração de biogás a partir de resíduos de animais: Estudo de caso de uma granja localizada em Videira/SC. / João Fernando Ferri da Silva; orientador, Paulo Belli Filho, coorientador, Ricardo Luis Radis Steinmetz, 2018. 62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Digestão anaeróbia. 3. Resíduos animais. 4. Biogás. I. Belli Filho, Paulo. II. Luis Radis Steinmetz, Ricardo. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

João Fernando Ferri da Silva

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para  
obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado  
em sua forma final pelo Programa TCC II.

Florianópolis, 01 de dezembro de 2018.

**Banca Examinadora:**



Prof. Paulo Belli Filho, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Dr. Ricardo Luis Radis Steinmetz  
Coorientador  
Embrapa Suínos e Aves



Prof. Rodrigo, de Almeida Mohedano, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



M.ª. Carina Malinowsky  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, que dedicaram grandes esforços para me oferecer a melhor educação possível.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ter saúde e disposição para enfrentar as dificuldades da vida.

Aos meus pais, Margaret Ferri e João Fernando da Silva, por se dedicarem para me dar a melhor educação possível e pelo amor incondicional.

Aos meus irmãos, em especial a Naiara, pelo incentivo e apoio quando eu mais precisei.

A minha família, em especial a minha tia Marciana e Itatiana que sempre estiveram por perto.

Aos meus amigos, que me ouvem e me mostram que é impossível ser feliz sozinho.

Ao Prof. Dr. Paulo Belli meu orientador, pela confiança, todo aprendizado, incentivo, e exemplo profissional.

A Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, por proporcionar a possibilidade de aprimorar meu conhecimento.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Suínos e Aves, pela estrutura disponibilizada para a realização do trabalho.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Estudos e Análises Ambientais (LEAA) e do Laboratório em estudos do Biogás (LEB) da Embrapa, em especial ao Ricardo e Deisi, pela atenção e conhecimento compartilhado.

"Saber muito não lhe torna inteligente. A inteligência se traduz na forma que você recolhe, julga, maneja e, sobretudo, onde e como aplica esta informação." (Carl Sagan)

## RESUMO

A suinocultura tem significativa importância no cenário econômico brasileiro, o Brasil é o 4º maior produtor e exportador de carne suína mundial. Santa Catarina destaca-se como um dos principais estados produtores, tendo na suinocultura sua principal atividade econômica do agronegócio. O Sistema de Produção de Animais Confinados (SPAC's), adotado como estratégia para suprir a crescente necessidade por proteína animal, além de aumentar a eficiência do processo, reduz os custos da produção. Entretanto, os passivos ambientais (dejeito, carcaças, restos de parição, etc.) da prática também são maiores e especificamente localizados. Estas circunstâncias fazem dos resíduos pecuários um sério problema ambiental a ser enfrentado. Neste sentido, a digestão anaeróbia oferece a oportunidade de mitigar o problema ambiental e, ao mesmo tempo, produzir o biogás passível de ser aproveitado. Os resíduos de parto e mortalidade animal, devido aos teores de lipídios, são considerados substratos com alto potencial de produção de biogás, entretanto, sua monodigestão pode produzir compostos intermediários que podem inibir o processo. Os estudos de digestão foram conduzidos em reatores em escala de bancada, em batelada, sob condições mesofílicas (37°C) e em triplicata. Para a carcaça da matriz de 270 kg, foram utilizadas 4,63 g de amostra, com 51,52% de SV na amostra e relação SV/ST de 94,76. Já para a carcaça do suíno na fase de creche, foram utilizadas 9,13 g de amostra, com 25,65% de SV na amostra e relação SV/ST de 91,84. Para o dejeito analisado, foram utilizadas 39,96 g de amostra, com 5,11% de SV e relação SV/ST de 80,81%. O levantamento do volume de dejeito e quantidade de resíduos gerados foi feito com base em relatórios disponibilizados pela própria granja, de janeiro de 2016 a setembro de 2018. Os resultados obtidos mostram que são gerados em média 280 m<sup>3</sup> de dejetos suíno e 1700 kg de resíduos de mortalidade e parto, representando sérios problemas potenciais para o meio ambiente e a saúde pública quando não gerenciados da maneira correta. A caracterização das amostras e os testes de potencial bioquímico do biogás (PBB) demonstram que esses resíduos apresentam grande potencial de produção de biogás. O acréscimo na produção de biogás considerando a codigestão do dejeito com os resíduos de mortalidade e restos de parto é de aproximadamente 20% em comparação com a monodigestão do dejeito suíno.

**Palavras-chave:** Digestão anaeróbia; Resíduos animais; Biogás.



## ABSTRACT

Swine farming has importance in the Brazilian economic scenario, Brazil is the 4th largest producer and exporter of pork in the world. Santa Catarina stands out as one of the main agribusiness economic enterprises. The Concentrated Animal Feeding Operation (CAFO's), adopted as a strategy to supply the need for animal protein, besides increasing process efficiency, reduces production costs. However, the environmental conditions (deportment, shootings, debris, etc.) are also greater and particularly higher. Student occurrences are a serious environmental problem to be face. This aim, the anaerobic digestion offers an opportunity to mitigate the environmental problem and, at the same time, produces the renewable energy. Animal residues, due to lipid contents, are considered as substrates with high potential for biogas production. However, their mono-digestion can generate intermediary compounds that can be inhibit the process. The digestion studies were conducted in bench scale reactors in batch, under mesophilic conditions (37°C) and in triplicate. For the 270 kg matrix shell, 4.63 g of sample were used, with 51.52% SV in the sample and SV / ST ratio of 94.76. For the pig carcass in nursery, 9.13 g of sample were used, with 25.65% SV in the sample and SV / ST ratio of 91.84. For the analyzed analysis model, 39.96 g of sample were used, with 5.11% SV and 80.81%. The survey of the volume of waste and the amount of waste generated is based on the data generated on average of 280 m<sup>3</sup> of swine manure and 1700 kg of mortality and particle waste, delighting the problems for the environment and public health when are not managed correctly. The characterization of the samples and the tests of biochemical potential of the biogas (PBB) show that the results are great potentials of biogas production. The increase in biogas production is approximately 20% compared to mono-digestion of the pig design.

**Keywords:** Anaerobic digestion; Animal waste; Biogas

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas de produção suínos.....	23
Figura 2. Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.....	34
Figura 3. Efeito da temperatura no crescimento das metanogênicas.....	36
Figura 4 Curva cumulativa da produção de biogás.....	44
Figura 5. São Roque I e II.....	45
Figura 6. São Roque III.....	45
Figura 7. SISTRATES Granja São Roque.....	46
Figura 8. Eudiômetro.....	49

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Tempo de residência Hidráulico.....	40
Equação 2. Carga Orgânica Volumétrica.....	41
Equação 3 Relação entre COV e TRH.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Volume diário de dejetos líquidos (L/animal/dia) gerados em sistemas de produção de suínos em Santa Catarina. ....	24
Tabela 2. Volume diário de consumo de água (L/animal/dia) gerados em sistemas de produção de suínos em Santa Catarina. ....	25
Tabela 3. Taxas de mortalidade rotineira e peso médio das carcaças em granjas de suínos.....	27
Tabela 4. Volume de animais mortos e restos de parto na fase de reprodução (kg ano <sup>-1</sup> ). ....	27
Tabela 5. Composição média do biogás. ....	42
Tabela 6. Valores adotados para peso vivo de suínos.....	47
Tabela 7. Taxa de mortalidade.....	51
Tabela 8. Quantidade de resíduos gerados diariamente por respectivo ano. ....	52
Tabela 9. Quantidade de dejetos gerados diariamente por respectivo ano. ....	52
Tabela 10. Caracterização das carcaças e dejetos suínos. ....	53
Tabela 11. Potencial Bioquímico de Biogás (PBB) e concentração de metano das amostras.....	53
Tabela 12. Volume teórico de biogás produzido diariamente a partir de resíduos de parto e mortalidade por ano. ....	54
Tabela 13. Volume teórico de biogás produzido diariamente a partir do volume de dejetos produzidos. ....	55
Tabela 14. Produção de biogás total (dejetos + carcaças) e acréscimos em comparação a monodigestão de dejetos. ....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABCS – Associação Brasileira dos Criadores de Suínos  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal  
AGV- Ácidos Graxos Voláteis  
AGVL – Ácidos Graxos Voláteis de Cadeia Longa  
C/N – Relação Carbono/Nitrogênio  
CC – Ciclo Completo  
CSTR – Continuous Stirred-Tank Reactor  
CT – Carbono total  
CZ – Cinzas  
FAO – Agência das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação  
GEE – Gases de Efeito Estufa  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
kg<sub>MF</sub> – Quilograma de Matéria Fresca  
MAPA - Ministério Da Agricultura Pecuária E Abastecimento  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
PB – Proteína Bruta  
PBB – Potencial Bioquímico do Biogás  
ppm – Partes Por Milhão  
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas  
SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões E Remoções de Gases De Efeito Estufa  
SPAC's – Sistema de Produção de Animais Confinados  
ST – Sólidos Totais  
SV – Sólidos Voláteis  
TRH – Tempo de Residência Hidráulico  
TRS – Tempo de Retenção De Sólidos  
UNIDO – United Nations Industrial Development Organization  
UPD – Unidade Produtora de Desmamados  
UPL – Unidade Produto de Leitões  
UT – Unidade de Terminação  
W – Tungstênio  
WTF – Wean-To-Finish

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1	PROBLEMÁTICA.....	19
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>20</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	20
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
3.1	SUINOCULTURA.....	21
3.2	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS .....	22
3.3	OS PASSIVOS AMBIENTAIS DA SUINOCULTURA .....	23
3.4	MORTALIDADE NA SUINOCULTURA .....	26
3.5	TECNOLOGIAS PARA PRÉ-PROCESSAMENTO DAS CARCAÇAS.....	28
3.6	TECNOLOGIAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE CARCAÇAS SUÍNAS.....	28
3.7	DIGESTÃO ANAERÓBIA .....	31
3.8	PARÂMETROS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA	35
3.9	BIOGÁS E ENERGIA .....	43
3.10	POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS.....	43
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>44</b>
4.1	LOCAL DE ESTUDO.....	45
4.2	ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS GERADOS.....	47
4.3	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	47

4.4	POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS .....	48
4.5	POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS .....	49
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSÕES.....</b>	<b>51</b>
5.1	TAXAS DE MORTALIDADE DA GRANJA .....	51
5.2	ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADOS NOS ÚLTIMOS 2 ANOS .....	51
5.3	CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....	52
5.4	ESTIMATIVA DO VOLUME DE BIOGÁS QUE PODER SER PRODUZIDO AO UTILIZAR AS CARÇAÇAS E RESÍDUOS DE PARTO COMO COSUBSTRATO NOS BIODIGESTORES.....	54
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A suinocultura tem papel de grande importância no cenário econômico brasileiro, não só pelo grande número de produtores envolvidos, mas também pelo significativo número de empregos diretos e indiretos criados e pela capacidade de produzir grande quantidade de proteína animal de alta qualidade em pouco espaço e tempo reduzido. (OLIVEIRA, 1993). No entanto, embora as atividades suinícolas proporcionem o desenvolvimento econômico e social, os resíduos gerados da agropecuária possuem alto potencial poluidor, sendo assim, faz-se necessário refletir sobre alternativas de mitigar os efeitos negativos ao meio ambiente (RESENDE et al, 2012).

Já bem consolidada, a suinocultura brasileira ocupa a 4ª posição mundial em relação a produção e comercialização de carne suína mundial.(ABCS; SEBRAE, 2016). A cadeia produtiva de carne suína do Brasil apresenta elevado desempenho econômico, grande parte em função dos investimentos na área, estratégias empresariais, avanços tecnológicos de abate e processamento e avanços em genética, nutrição e medicamentos (MIELE; WAQUIL, 2007).

A Agência das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) aponta crescimentos entre 15% e 40% na demanda global por alimentos nas próximas décadas, esse fato faz com que a agropecuária em frente o desafio de produzir mais e gerar menos resíduos (GAMARRA-ROJAS; FABRE, 2017).

A forma de produção de animais vem sofrendo mudanças nas últimas décadas, deixando de ser sistema de criação extensivo e tornando-se sistemas de produção com confinamento intensivo. O sistema de produção de animais confinados (SPAC's) além de aumentar a eficiência do processo, também reduz os custos (KUNZ; OLIVEIRA, 2006).

A suinocultura brasileira assume diferentes aspectos quanto a escala de produção, a tecnologia utilizada e a relação entre o produtor e a empresa de processamento. O modelo de produção varia de acordo com a região do país. Na região Sul há o predomínio de pequenos suinocultores integrados ou cooperados, com foco em determinadas fases da produção (ABCS; SEBRAE, 2016).

Nas décadas passadas, o tipo de exploração e o reduzido tamanho dos rebanhos não produziam impactos importantes sobre o meio ambiente. Entretanto, nos últimos anos, a adoção de SPAC's fez com que os resíduos gerados fossem também tão numerosos e especificamente localizados. Estas circunstâncias fazem dos resíduos das explorações pecuárias um sério problema ambiental, por sua forte carga contaminante



e aos grandes volumes gerados nos núcleos produtores. Neste sentido, a digestão anaeróbia (ausência de oxigênio) oferece a possibilidade de solucionar, em grande medida, o problema ambiental e, ao mesmo tempo, produzir o biogás que pode ser facilmente aproveitado (UNIDO, 2013).

Os estados do Sul do Brasil são responsáveis por uma parcela significativa da produção suína e geram diariamente grandes quantidades de resíduos (dejeito, carcaças de animais mortos, vísceras, resto de partição, etc.). Todo esse material necessita de destinação adequada, a utilização de biodigestores aparece como uma alternativa interessante para tratamento dos resíduos com produção de biogás, com geração de energia e biofertilizante (BIASI et al., 2018).

Os biodigestores são reatores biológicos que degradam os resíduos gerados em condições anaeróbias, produzindo efluente líquido (digestato) e gerando biogás (FORMIGONI; FONTES, 2014). Geralmente são construídos junto à estrutura de confinamento dos animais para armazenar os dejetos e produzir biogás a partir da sua fermentação. Podem ser ligados a um gerador e/ou “queimador”, produzindo assim energia elétrica e calor. Além disso, o processo tem como subproduto o biofertilizante, que pode ser utilizado nas pastagens e lavouras. Dependendo da quantidade de dejetos gerada, o empreendimento rural pode se tornar autossustentável em energia e fertilizante adubo (IMAFLOA, 2018).

O dejeito suíno (mistura de fezes, urina e água de lavagem) é caracterizado pela alta capacidade de tamponamento e pela variedade de nutrientes, fundamentais para o crescimento dos micro-organismos responsáveis pela digestão anaeróbia, porém, o dejeito suíno possui elevada concentração de nitrogênio e amônio e baixo teor de matéria orgânica. (MLADENOVSKA et al., 2006). Um importante aspecto a ser observado é em relação ao uso da água na propriedade, visto que, o uso excessivo traz consequências negativas, pois aumenta a quantidade de resíduos e a dispersão da matéria orgânica nos efluentes, como consequência teremos menor produção de biogás, maior custo de tratamento e maior uso dos recursos hídricos. (MAPA, 2016)

Os resíduos de animais apresentam-se como um interessante substrato para produção de biogás. Os valores de SV, proteínas e gorduras sugerem que a carcaça animal é um excelente substrato para a biodigestão anaeróbia. (RAJAGOPAL; CANADA; SAADY, 2014). A vantagem de utilizar esse tipo de resíduo para produção de biogás não é apenas em relação ao aspecto financeiro de geração de energia, mas também em relação à mitigação de impactos ambientais, ao manejo dos resíduos nas propriedades e à biossegurança do plantel. Dessa forma, parte dessa

energia poderia ser usada para suprir a necessidade nos sistemas de tratamentos, e outra nas instalações dos animais.

Entretanto, durante a degradação de carcaças suínas e resíduos de parição, em monodigestão, há produção de compostos inibidores da digestão anaeróbia, como nitrogênio amoniacal, ácidos orgânicos voláteis e ácidos de cadeia longa, os quais podem desencadear outras rotas de degradação e comprometer a formação do metano (RAJAGOPAL; CANADA; SAADY, 2014).

O tratamento conjunto de resíduos orgânicos de diferentes origens e composição (codigestão), podem apresentar perfis mais eficazes de digestão. Além disso, podem compartilhar instalações de tratamento, reduzir custos de investimento e exploração e unificar metodologias de gestão dos resíduos. O principal aspecto da codigestão é em relação a sinergia das mesclas, compensando as carências de cada um dos substratos, além de aumentar a produção de biogás (UNIDO, 2013). Em estudo realizado por Táparro (2017) foi observado aumento da produção de biogás de (15% a 119%) da codigestão de dejetos suíno e carcaça suína em comparação com a monodigestão de dejetos suíno.

Dessa forma, a codigestão se apresenta como uma estratégia eficaz para superar os problemas devido ao acúmulo de ácidos graxos voláteis de cadeia longa (AGVL) nos biodigestores, normalmente relatados na digestão de resíduos ricos em lipídios e proteínas, causando formação de espuma, entupimento, flutuação de material dentro do reator e inibição da atividade microbiana (MATA-ALVAREZ et al., 2014).

Ao pensar em utilizar a digestão anaeróbica como estratégia de tratamento de resíduos, é importante conhecer as características do substrato. Dessa forma, a caracterização do substrato é tão importante quanto os demais parâmetros que envolvem o processo.

É importante avaliar todo o processo de destinação final de resíduos da suinocultura, visto que, a biossegurança da granja é o principal objetivo na cadeia produtiva, somente dessa forma é possível garantir a saúde dos animais e evitar contaminações e disseminações de patógenos, fundamental para obtenção de alimentos seguros aos humanos.

O presente trabalho visa propor a codigestão de resíduos de carcaças e restos de parto com dejetos suínos como alternativa para o tratamento desses resíduos na propriedade, com a possibilidade de recuperação e aproveitamento do biogás para geração de energia.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

Os principais problemas enfrentados na suinocultura em SPAC's são em relação a: contaminação das águas superficiais e subterrâneas, poluição orgânica pelo nitrogênio, alterações nas características do solo, a presença de insetos indesejáveis e microrganismos enteropatogênicos, a poluição atmosférica pela emissão de GEE e maus odores (BELLI FILHO et al., 2001).

Em SPAC's como em qualquer outra forma de produção de animal, existe mortalidade de animais, na maioria das vezes essa questão representa um sério problema enfrentado pelos produtores rurais que alegam não terem mais condições de dar destino adequado dentro de suas propriedades, devido ao grande volume de carcaças e restos de parição a serem descartados (KRABBE, 2017).

Na maioria das vezes, esse tipo de resíduo não passa por um tratamento adequado e não são destinados corretamente, tanto em propriedades rurais como na agroindústria, devido a falhas de legislação e fiscalização.

No Estado de Santa Catarina existe uma lei estadual sancionada e só não vigora por não haver uma regulamentação federal, que está em construção, apesar das fortes divergências de uma série de elos da cadeia de produção (KRABBE, 2017).

Em relação às emissões de GEE, de acordo com do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em seu Relatório de Emissões do Setor de Agropecuária (2018), as emissões totais de GEE relacionadas ao manejo de dejetos suínos para o ano de 2016, representam 5,5 MtCO<sub>2</sub>e. Santa Catarina é responsável por 19% destas emissões, sendo junto com Minas Gerais os principais poluidores.

Atualmente o setor agropecuário é responsável por cerca de 10% das emissões globais (WRI-CAIT, 2014). Dessa forma, a agropecuária mundial enfrentar o desafio de produzir mais e ao mesmo tempo reduzir suas emissões de GEE (PIATTO et al., 2018).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o potencial de produção de biogás a partir dos resíduos de parto e mortalidade animal.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar a quantidade de dejetos e resíduos gerados de parto e mortalidade animal nos últimos 2 anos;
- Avaliar o potencial de produção de biogás a partir da monodigestão do dejetos e sua codigestão com resíduos de parto e mortalidade animal;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 SUINOCULTURA

O Brasil ocupa a quarta colocação no mercado mundial de carne suína, o plantel reprodutivo brasileiro é de 1.720.255 matrizes, tendo produzido 39.263.964 suínos para abate em 2015. Santa Catarina lidera o ranking brasileiro com o número estimado de 420.488 matrizes, 24,4% da produção total (ABCS; SEBRAE, 2016).

A produção de carne suína no Brasil é de 3.758 mil toneladas para o ano de 2017. As exportações Brasileiras de carne suína no ano de 2017 alcançaram 697 mil toneladas, representando 10% do volume exportado de carne suína do mundo. Santa Catarina é responsável por 40,28% das exportações (ABPA, 2018).

No 1º trimestre de 2018, foram abatidas 10,72 milhões de cabeças de suínos, representando queda de 3,1% em relação ao trimestre imediatamente anterior e aumento de 2,3% na comparação com o mesmo período de 2017. Este é o melhor resultado para primeiros trimestres desde que a Pesquisa se iniciou em 1997. A maior parte do abate de suínos no Brasil tem sido realizada por estabelecimentos de grande porte, que abateram mais de 500 animais/dia (9,6% do total de estabelecimentos) e foram responsáveis por 83,5% do número total de animais abatidos no 1º trimestre de 2018 (IBGE, 2018).

Em Santa Catarina, a suinocultura apresenta grande destaque econômico, social e cultural principalmente em determinação regiões onde a atividade tem grande tradição. Apesar da grande relevância do setor, ele apresenta baixa qualidade ambiental, afetando o solo, água e a qualidade do ar da região. A forma como os suínos são criados, com níveis intensos de confinamento, aumentam as preocupações em relação a grande quantidade de dejetos produzidos (BELLI FILHO et al., 2001).

Berço de algumas das mais tradicionais agroindústrias da cadeia de suínos do Brasil, o estado de Santa Catarina continua a ter na suinocultura sua principal atividade econômica do agronegócio. Em termos nacionais, o estado responde por cerca de 24% das matrizes alojadas, 33% das granjas existentes e 26% da produção de carne suína do Brasil (ABCS; SEBRAE, 2016).

### 3.2 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS

O conceito “sistema” na suinocultura diz respeito as formas como se organiza a produção dos suínos na granja. A produção pode ser classificada de acordo com o grau de controle entre extensivo e intensivo, e a produção extensiva é definida extrativista e subsistência, praticamente sem controle de dados e manejo de resíduos. As demais formas são consideradas intensivas, nas quais se objetiva a produtividade e a viabilidade econômica (FORMIGONI; FONTES, 2014).

Os sistemas de produção intensivos de suínos confinados nas granjas podem ser classificados nos seguintes tipos: (ABCS; SEBRAE, 2016)

**a) Unidade Produtora de Leitão (UPL)** – É a granja que objetiva a produção de leitões com cerca de 22 a 26 kg, após a fase de creche são encaminhados a Unidade de Terminação (UT).

**b) Unidade Produtora de Desmamados (UPD)** – Diferente das UPL, a UDP não possui a fase de creche, ou seja, os leitões são produzidos usualmente com 6kg aos 21 dias. Após essa etapa, os leitões são encaminhados para crechários ou para granjas wean to finish.

**c) Crechário** – Nesse sistema, as granjas recebem os leitões desmamados e entregam leitões de 22 a 26 kg para as UT’s. A fase de creche é um momento crítico, requisitando cuidados com a nutrição e aspectos sanitários e imunológicos.

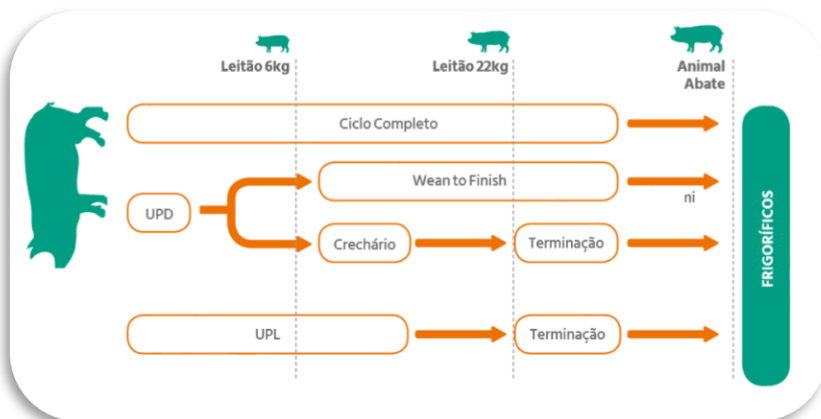
**d) Unidade de Terminação (UT)** – Nesse tipo de granja acontece a engorda dos leitões oriundos das granjas de UPL ou crechários, assim sendo, recebem leitões com 22 a 26 kg e entregando suínos para o abate.

**e) Wean to Finish (WTF)** – Nesse tipo de produção, os leitões não passam pela creche após o desmame, ou seja, seguem para a granja WTF onde permanecem até o abate.

**f) Ciclo Completo (CC)** – Esse sistema envolve todas as fases da produção (gestação, maternidade, creche e terminação) no mesmo local, de forma que o suíno nasça e permaneça na mesma granja até o abate.

A figura 1 apresenta o resumo das fases do suíno na granja assim como o sistema de produção.

Figura 1. Sistemas de produção suínos.



Fonte: Adaptado Mapeamento da suinocultura brasileira (ABCS; SEBRAE, 2016)

Na suinocultura moderna, o modelo produtivo das granjas tem sido cada vez mais eficiente e a cada dia tem se buscado melhorar os índices de produtividade, melhorando as linhagens de matrizes, instalações, nutrição e sanidade do plantel, visando, o aumento da produção de leitões (LIMA; SANTOS, 2015).

É necessário que se entenda que o alojamento de um grande número de animais, com mão de obra cada vez mais escassa, só foi possível através da adoção de novas tecnologias, como instalações mais automatizadas, com comedouros e bebedouros modernos e outras tecnologias. Essa mesma lógica deveria ser considerada para os passivos (dejetos e cadáveres/restos de partos). Do contrário conclui-se que a atividade não é sustentável (KRABBE, 2017).

### 3.3 OS PASSIVOS AMBIENTAIS DA SUINOCULTURA

A suinocultura é considerada pelos órgãos de fiscalização e proteção ambientais como uma atividade de alto potencial poluidor, pelo fato de os efluentes apresentarem inúmeros contaminantes (OLIVEIRA, 2012).

Os principais problemas enfrentados na suinocultura em SPAC's são em relação à contaminação das águas superficiais e subterrâneas,

poluição orgânica pelo nitrogênio, alterações nas características do solo, a presença de insetos indesejáveis e microrganismos enteropatogênicos, a poluição atmosférica pela emissão de GEE e maus odores. (BELLI FILHO et al., 2001). O lançamento de grandes quantidades de dejetos suíno em rios, lagos ou mesmo no solo pode levar a graves desequilíbrios ecológicos devido à alta carga orgânica integrante desse tipo de resíduo (FATMA, 2014; OLIVEIRA, 1993).

Na tabela 1 é possível observar o quão sério é o problema do manejo do dejetos suína nas unidades de produção de suínos em Santa Catarina. Nesse sentido, a cadeia de produção precisa de alternativas não só que reduzam o impacto ambiental, e sim, agreguem valor a essa matéria prima

Tabela 1. Volume diário de dejetos líquido (L/animal/dia) gerados em sistemas de produção de suínos em Santa Catarina.

<b>Sistemas de Produção de Suínos</b>	<b>Massa suínos (kg)</b>	<b>Volume Dejetos (L animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>
<b>Ciclo Completo (CC)</b>	-	47,1
<b>Unidade de Produção de Leitões (UPL)</b>	-	22,8
<b>Unidade de Produção de Desmamados (UPD)</b>	-	16,2
<b>Crechários (CR)</b>	6-28	2,3
<b>Unidades de Terminação (UT)</b>	23-120	4,5

Fonte: Instrução Normativa 11 – Suinocultura. (FATMA, 2014)

A produção de dejetos na atividade suinícola e sua qualidade estão diretamente relacionadas com o uso excessivo de água nas granjas, em função dos desperdícios nos bebedouros e dos programas de limpeza e desinfecção dos edifícios de alojamento. A gestão dos dejetos face ao volume produzido e às quantidades de nutrientes liberadas para o meio ambiente assume, assim, uma importância significativa na atividade. No entanto, em semelhança do referido anteriormente, para o consumo de água, o desconhecimento dos volumes reais de dejetos produzidos em cada fase fisiológica, no Brasil, tem-se apresentado como um entrave para



o desenvolvimento de programas de manejo e destinação dos subprodutos gerados (TAVARES, 2016).

A tabela 2. apresenta os valores de consumo de água (Litros/animal/dia) em sistemas de produção de suínos em Santa Catarina.

Tabela 2. Volume diário de consumo de água (L/animal/dia) gerados em sistemas de produção de suínos em Santa Catarina.

<b>Sistemas de Produção de Suínos</b>	<b>Massa suínos (kg)</b>	<b>Consumo de água (L animal<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>)</b>
<b>Ciclo Completo (CC)</b>	-	72,9
<b>Unidade de Produção de Leitões (UPL)</b>	-	35,3
<b>Unidade de Produção de Desmamados (UPD)</b>	-	27,8
<b>Crechários (CR)</b>	6-28	2,5
<b>Unidades de Terminação (UT)</b>	23-120	8,3

Fonte: Instrução Normativa 11 – Suinocultura. (FATMA, 2014)

Todas as unidades produtivas, independente do módulo ou sistema produtivo, geram carcaças de animais mortos ou sacrificados. As UPL's e UPD's geram além das carcaças, outros materiais, tais como, natimortos, mumificados e restos fetais (placentas e cordões umbilicais). A mera presença deste material configura um risco biológico e ambiental que exige disposição e tratamento adequado (MAPA, 2016).

O tratamento dos resíduos gerados na suinocultura é tão importante quanto a própria produção dos animais (FORMIGONI; FONTES, 2014). Sendo assim, os esforços não devem ser direcionados apenas na fase posterior a geração dos resíduos e sim em todo o ciclo de produção, iniciando no uso dos insumos, passando pelo tratamento dos resíduos gerados até chegar na destinação adequada e racional dos produtos do processo de tratamento, como o biogás e o biofertilizante orgânico (MAPA, 2016).

Dessa forma, o processo de produção de suínos e aproveitamento econômico dos resíduos deve ser enfrentado sob diferentes aspectos:

**I. Aspecto Ambiental** – Eliminar ou minimizar a quantidade de resíduos gerados nas propriedades, e promover um tratamento adequado,

de forma a diminuir ou eliminar o potencial poluidor, e assim, mitigar a degradação ambiental.

**II. Aspecto Agrônômico** – Utilizar o digestato como biofertilizante na própria propriedade, complementando as necessidades de adubação do solo e aumentando a produtividade das lavouras quando possível.

**III. Aspecto Sanitário** – Tratamento adequado dos resíduos, de forma a eliminar possíveis contaminações do rebanho por patógenos, garantir a produtividade, bem como, garantir proteína animal de alta qualidade.

**IV. Aspecto Social** – Contribuir para a manutenção da atividade agrícola de grande importância, melhorar as condições de habitação com eliminação de odores, e solucionar o problema de concentração de dejetos e resíduos nas propriedades, desta forma, viabilizar a continuidade agroindustrial ajudando com a manutenção do homem no campo.

### 3.4 MORTALIDADE NA SUINOCULTURA

Na suinocultura existem basicamente três tipos de mortalidade segundo (KRABBE, 2017).

**I. Mortalidade de notificações obrigatória**, são as causadas por agentes infecciosos que demandam de medidas de controle e são supervisionadas por órgão de defesa sanitária animal

**II. Mortalidade catastrófica**, em casos de falta de condições essenciais (água, energia, etc.), condições climáticas extremas ou decorrentes de acidentes (geralmente no transporte)

**III. Mortalidade rotineira**, as consideradas biologicamente normais. A estas, são somados natimortos, mumificados e restos fetais.

Outros fatores como mortalidade embrionária e natimortalidade, podem influenciar negativamente na eficiência reprodutiva reduzindo o número de leitões desmamados/ fêmea /ano e com isso causando prejuízo ao produtor (AUGUSTO et al., 2006).

A tabela 3. mostra os índices de mortalidade em relação as fases dos suínos nos municípios brasileiros em que se concentram os plantéis.

Tabela 3. Taxas de mortalidade rotineira e peso médio das carcaças em granjas de suínos.

Categoria animal	Peso médio (kg)	Mortalidade (%)	
		Meta	Valor Crítico
Suínos, leitões na maternidade	3	6	10
Suínos, leitões na creche	15	1	2,5
Suínos, terminação	75	0,6	1,0
Suínos, matriz e reprodutores	250	5	7

Fonte: Retrato dos volumes de cadáveres e sua distribuição geográfica no Brasil (KRABBE, 2017).

A tabela 4. representa o quanto é difícil lidar com esse desafio crescente. É importante observar que, na prática, o número de animais alojados na unidade produtiva deve estar condizente com a capacidade de destinar as carcaças, vísceras e restos de parição. Da mesma forma com que o modelo produtivo vem se tornando cada vez mais eficiente, os sistemas de tratamento dos passivos da produção devem ser encarados com a mesma lógica.

Tabela 4. Volume de animais mortos e restos de parto na fase de reprodução (kg ano<sup>-1</sup>).

Nº Matriz	Reprodução				
	Geração de Resíduos (kg.ano <sup>-1</sup> )				
	Morte	Resto de parto	Leitões mortos	Total	kg/dia
100'	1.250	1.680	396	3.326	9,11
200	2.500	3.360	792	6.652	18,22
400	5.000	6.720	1.584	13.304	36,45
800	10.000	13.440	3.168	26.608	72,90
1.200	15.000	20.160	4.752	39.912	109,35
2.400	30.000	40.320	9.504	79.824	218,70
4.800	60.000	80.640	19.008	159.648	437,39

Fonte: Retrato dos volumes de cadáveres e sua distribuição geográfica no Brasil (KRABBE, 2017).

Krabbe (2017), estimou que o volume de carcaças mais resto de parição gerados na fase de reprodução seja de 91,1 gramas/animal alojado/dia.

### **3.5 TECNOLOGIAS PARA PRÉ-PROCESSAMENTO DAS CARCAÇAS**

A aplicação de métodos de pré-tratamento aumenta a degradação de substratos e, portanto, a eficiência do processo (BHARATHIRAJA et al., 2018).

As etapas de pré-processamento são indicadas, ou não, conforme o sistema de tratamento empregado posteriormente (compostagem, biodigestão ou incineração) e são as seguintes:

#### **➤ Trituração ou esquarteramento**

A trituração das carcaças em fragmentos menores que 3 cm é utilizada para reduzir o volume das carcaças, e facilitar o processo de hidrólise, etapa limitante da velocidade global do processo, aumentando assim a eficiência dos sistemas de tratamento (NICOLOSO, 2017).

#### **➤ Desidratação**

O tratamento térmico tem como objetivo inativar os organismos patogênicos e reduzir os volumes das carcaças (60-80%) através da perda da água. Nesse processo, não há emissões de gases, pois não ocorre queima ou incineração das carcaças, portanto, apenas vapor d'água e gases proveniente dos combustíveis utilizados como fonte de energia são gerados. Para uso em biodigestores não se recomenda a desidratação completa das carcaças, mas o tratamento térmico para inativação de patógenos com temperatura mínima de 70°C por duas horas (NICOLOSO, 2017).

### **3.6 TECNOLOGIAS DE DISPOSIÇÃO FINAL DE CARCAÇAS SUÍNAS**

As carcaças de animais, resto de parição, resto de abatedouros e de pequenos incubatórios podem disseminar doenças, produzir mal cheiro e, também, atrair insetos indesejáveis (MMA, 2006).

Muitas das tecnologias adotadas para tratar esses resíduos são opções de custo acessível, sem demandar mão de obra adicional e expor

as pessoas a atividades de risco (insalubres), permitindo a geração de energia (biogás) e/ou fertilizantes (KRABBE, 2017).

A destinação final do resíduo tratado (composto orgânico, biofertilizante e cinzas) como fertilizante deve seguir as recomendações técnicas referente a cultura a ser adubada e as legislações que regulamentam o tema (NICOLOSO, 2017).

As técnicas de disposição mais comuns são as seguintes:

### ➤ **Compostagem**

A composta é definida como a decomposição biológica e a estabilização das substâncias orgânicas, resultando em um produto final suficientemente estável para a estocagem e aplicação agrícola, sem gerar efeitos adversos ao meio ambiente. É considerada um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido (OLIVEIRA; HIRAGASHI, 2006).

Esta tecnologia de tratamento é indicada para tratar, além de dejetos, carcaças, natimortos, mumificados e restos fetais em pequenos sistemas de produção. As carcaças devem ser trituradas ou esmaltadas para facilitar o processo, e o substrato (maravalha, cama de aves, palha, etc.) deve ter alta relação C/N, bem como boa capacidade de absorção de líquidos. Essa técnica é adequada para destinação de animais nos quais ocorreu mortalidade normal (MMA, 2006; NICOLOSO, 2017).

A compostagem, na prática, tem dois ciclos distintos: o de fermentação ou primário e o ciclo de maturação ou cura. A compostagem tem sido uma alternativa viável, que utiliza os resíduos da suinocultura e convertendo-os em um produto inodoro, inofensivo, geralmente isento de patógenos, passível de ser utilizado como biofertilizante (FORMIGONI; FONTES, 2014).

### ➤ **Compostagem acelerada**

Os processos acelerados de compostagem, estática com mecanização e rotoacelerada, apesar de necessitarem de maiores investimentos, a redução da massa composta e conclusão do estágio final é mais eficiente, pode representar economia de área e produção contínua de biofertilizante seco (MAPA, 2016). Essa tecnologia é ideal para processos produtivos com grande geração de resíduos.

Essa tecnologia é adequada para mortalidade rotineira em grandes sistemas de produção. Assim como na compostagem tradicional, as carcaças devem ser previamente trituradas, e o substrato utilizado deve apresentar alta relação C/N e boa capacidade de absorção de líquidos. O

processo ocorre em reatores cilíndricos rotativos e o tempo de retenção para sistema com alimentação contínua varia de 21-28 dias. O composto orgânico gerado pode ser utilizado como fertilizante para a adubação de culturas agrícolas e florestais conforme recomendações técnicas, sendo vedado seu uso em pastagens, hortaliças ou frutíferas (NICOLOSO, 2017).

### ➤ **Biodigestor anaeróbio**

O biodigestor é um reator biológico que decompõe os resíduos animais em condições anaeróbias (ausência de oxigênio), produzindo um efluente líquido (digestato) e gerando biogás. A capacidade do biodigestor em degradar os resíduos depende de vários fatores como temperatura, sólidos voláteis e atividade dos micro-organismos presentes no biodigestor (FORMIGONI; FONTES, 2014).

Os reatores de mistura completa CSTR, apresentam suas facilidades no tratamento de esgoto doméstico, resíduos industriais e agrícolas. O sistema de mistura e aquecimento é essencial para o processo. Normalmente o TRH é igual ao TRS. O sistema pode operar em uma ou duas fases, dependendo das características do substrato (WELLINGER et al. 2013).

Essa tecnologia é também indicada para tratamento de carcaças de animais mortos e restos de parição, visando a produção de biogás, para isso as carcaças devem ser submetidas previamente a tratamento térmico (mínimo 70°C por 2 horas), além de serem trituradas. O tempo de retenção para biodigestores do tipo CSTR é a partir de 15 dias. O digestato pode ser utilizado para a adubação de culturas agrícolas e florestais conforme recomendações técnicas, sendo vedado seu uso em pastagens, hortaliças ou frutíferas (NICOLOSO, 2017).

O biodigestor faz parte de um sistema de tratamento de dejetos e não pode ser considerado etapa final (FORMIGONI; FONTES, 2014).

### ➤ **Incineração**

A incineração é uma tecnologia recomendada especialmente para resíduos de alto risco sanitário. O processo ocorre em temperatura acima de 800°C, e é composto por uma câmara de combustão e a câmara secundária, para queima dos voláteis (NICOLOSO, 2017).

Técnicas de incineração têm sérias implicações devido à dificuldade de produção de altas temperaturas para queima, o que torna o processo oneroso (FORMIGONI; FONTES, 2014). Além disso, as cinzas resultantes devem ser dispostas de acordo com a Resolução 316/2002 do CONAMA (NICOLOSO, 2017).

### 3.7 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é uma alternativa garantida para o tratamento de resíduos biodegradáveis, uma vez que produz o valioso biogás e, posteriormente, um volume reduzido de resíduos sejam eliminados. A recuperação e aproveitamento do biogás tem um papel considerável na gestão de resíduos contribuindo para mitigar o aquecimento global (BHARATHIRAJA et al., 2018).

O biogás é composto basicamente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), também possui, em menores quantidades, hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e outros gases. A composição do biogás e a quantidade produzida dependem de diversos fatores, como a composição do substrato, temperatura, pH, umidade, entre outros. Já o digestato, é composto por quantidades consideráveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), este composto tem capacidade de melhorar a estrutura e fertilidade do solo, a retenção da umidade, e a atividade microbiana (BIASI et al., 2018; UNIDO, 2013).

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema em que diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa. (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015) É um processo bioquímico complexo, composto por várias reações sequenciais, e os microrganismos envolvidos são muito especializados onde cada grupo atua em reações específicas (PROSAB, 1999).

O processo de digestão anaeróbia é subdividido em 5 etapas: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese, Metanogênese e Sulfetogênese. A Sulfetogênese ocorre somente na presença dos sulfatos, e, nessa situação, compete com a Metanogênese, diminuindo a produção do metano (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015).

#### ➤ Hidrólise

A hidrólise é o passo inicial para a degradação anaeróbica de substratos orgânicos complexos, já que os microrganismos somente podem utilizar matéria orgânica solúvel capaz de atravessar sua parede celular. Portanto, é o processo de hidrólise que proporciona substratos orgânicos para as seguintes etapas da digestão anaeróbica. A taxa de hidrólise geralmente aumenta com a temperatura e depende, também, do tamanho das partículas (UNIDO, 2013).

O processo necessita da interferência das exoenzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas. As proteínas são degradadas e formam aminoácidos. Os carboidratos se transformam em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos) e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa de carbono e glicerina (PROSAB, 1999).

### ➤ **Acidogênese**

Os compostos gerados no processo de hidrólise, são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretam substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis de cadeia curta (acético, propiônico e butírico), álcoois, ácido lático e compostos minerais como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  etc. A fermentação acidogênica é realizada por bactérias na maioria anaeróbias obrigatórias, porém, algumas espécies são facultativas e podem metabolizar material orgânico por via oxidativa (PROSAB, 1999).

A formação de um ácido ou outro depende da concentração de  $\text{H}_2$  no meio. Quando a concentração de  $\text{H}_2$  no gás produzido é muito baixa (5 a 50 ppm), forma-se preferentemente ácido acético. Quando aumenta a concentração de  $\text{H}_2$ , observa-se uma diminuição da concentração de acético e aumenta a fração de ácidos de cadeia mais longa como propiônico, butírico (UNIDO, 2013).

### ➤ **Acetogênese**

Essa fase depende da atividade de dois grupos de bactérias acetogênicas: os produtores de hidrogênio, que convertem os compostos orgânicos anteriormente gerados em acetato, liberando hidrogênio ( $\text{H}_2$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); e os consumidores de hidrogênio que produzem o acetato a partir de  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}_2$ . Entretanto, por razões termodinâmicas, nos reatores anaeróbios essa rota metabólica é pouco provável de acontecer, pois as bactérias acetogênicas são superadas pelas bactérias metanogênicas utilizadoras de hidrogênio, as quais vivem uma estreita colaboração, uma relação quase simbiótica (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015; PROSAB, 1999).

Estas bactérias têm um crescimento mais lento que as acidogênicas, sendo seu tempo mínimo de duplicação de 1,5 a 4 dias (UNIDO, 2013).

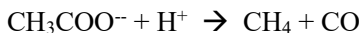
### ➤ **Metanogênese**

Nessa etapa final do processo, os compostos como o ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono são transformados em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Distinguem-se dois tipos principais de microrganismos envolvidos nesta



etapa, os que degradam o ácido acético (bactérias metanogênicas acetoclásticas) e os que consomem hidrogênio (bactérias metanogênicas hidrogenotróficas) (PROSAB, 1999).

- Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica:



- Metanogênese hidrogenotrófica:



As bactérias metanogênicas acetoclásticas têm um crescimento lento (tempo mínimo de duplicação de 2 a 3 dias) e não são afetadas pela concentração de hidrogênio no biogás, essa via de formação é responsável por cerca de 70% do metano produzido. As bactérias metanogênicas hidrogenotróficas produzem metano a partir de hidrogênio e  $\text{CO}_2$ . Esta reação tem uma função dupla no processo de digestão anaeróbica, por um lado se produz metano, e por outro se elimina o hidrogênio gasoso (ONUADI, 2013).

Devido às características de seus substratos, as arqueias metanogênicas têm crescimento limitado e ainda são extremamente sensíveis, pois, na presença de oxigênio, são tóxicas e necessitam de um pH neutro ou ligeiramente alcalino, sendo facilmente inibidas, por exemplo, pela presença de sulfeto, ácidos orgânicos ou desinfetantes (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015).

### ➤ Sulfetogênese

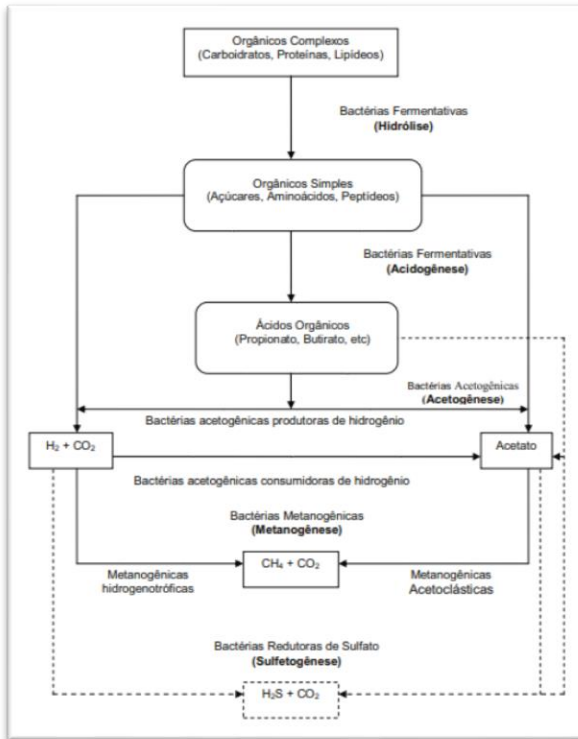
As sulforeduzoras (grupo versátil de bactérias e *Archaeas*) utilizam compostos sulfurados, principalmente sulfato, para oxidar, bioquimicamente, compostos orgânicos (ácidos orgânicos, açúcares, glicerol, etanol, aminoácidos e acetato), produzindo  $\text{CO}_2$ , ou, no caso da degradação incompleta,  $\text{H}_2\text{S}$  e compostos orgânicos de menor complexidade. Na presença de compostos sulfurados, entretanto, as bactérias sulforeduzoras competem com todos os compostos orgânicos formados na cadeia e reduzem o rendimento da formação de biogás. Adicionalmente, o  $\text{H}_2\text{S}$  inibe as arqueias metanogênicas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015).

A redução biológica de sulfato em digestores anaeróbios é considerada como um processo indesejável por duas razões: o sulfato oxida material orgânico que deixa de ser transformado em metano e no

processo forma-se o gás sulfídrico, que é corrosivo e confere odor muito desagradável tanto à fase líquida como ao biogás, além de poder ser tóxico para o processo de metanogênese (PROSAB, 1999).

A figura 2. representa resumidamente o processo de digestão anaeróbica:

Figura 2. Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.



Fonte: Chernicharo (1997)

O processo de digestão anaeróbia é influenciado por diversos fatores, podendo ser destacadas a temperatura, a carga orgânica aplicada, a presença de materiais de natureza tóxica, etc. Em temperaturas elevadas, as reações biológicas ocorrem com maior velocidade, resultando possivelmente em maior eficiência do processo (PROSAB, 2003).

### 3.8 PARÂMETROS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Para que o processo se realize com eficiência satisfatória, deve se conseguir: manter a maior atividade bacteriana possível, uma concentração mínima de produtos intermediários e aumentar a velocidade da etapa que limita globalmente o processo (UNIDO, 2013).

#### *I. Manter a máxima atividade microbiana*

Conseguir boas condições de estabilidade com elevada ativação bacteriana é o esperado dos digestores, dessa forma, é importante controlar as condições e parâmetros do digestor para que haja boa atividade microbiana e condições estáveis do processo, as condições adequadas nos processos anaeróbicos são relacionadas a:

##### ➤ **Inóculo inicial e partida do reator**

A partida de reatores anaeróbios pode ser definida como o período transiente inicial, marcado por instabilidades operacionais. Para alguns substratos orgânicos que carecem de microrganismos adequados, é necessário contar com um inóculo inicial com quantidade suficiente de bactérias anaeróbicas que realizam a degradação (UNIDO, 2013).

Nos últimos anos, com a utilização de metodologias de partida bem fundamentadas e com o estabelecimento de rotinas operacionais adequadas, significativos avanços foram conseguidos no sentido de diminuir o período de partida dos sistemas e de minimizar os problemas operacionais nessa fase (PROSAB, 1999).

Os digestores que foram arrancados lentamente, a longo prazo, oferecem uma maior estabilidade. Os tempos de arranque costumam flutuam entre 1 e 4 meses, dependendo do substrato e da tecnologia utilizada (UNIDO, 2013).

##### ➤ **Temperatura**

Nos sistemas biológicos, a influência da temperatura é muito importante, pois as velocidades das reações bioquímicas são diretamente afetadas pela temperatura, e o crescimento dos microrganismos metanogênicos são extremamente sensíveis a mudanças na temperatura (OLIVEIRA, 1993). Para o crescimento microbiano, existem três faixas de temperatura:

➤ Psicrófila: entre 5 e 20° C;

➤ Mesófila: entre 25 e 45° C (ideal 35-37° C);

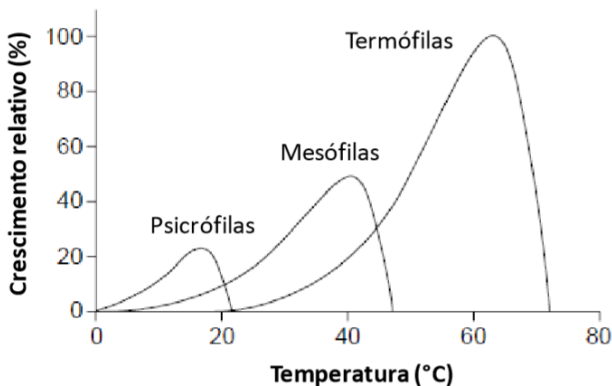
➤ Termófila: entre 45 e 65° C (ideal 50-60° C).

A faixa psicrófila é, geralmente, pouco viável devido à necessidade de construir digestores de grandes dimensões. A faixa termófila, apesar de apresentar maior velocidade do processo e uma melhor eliminação de organismos patogênicos, costuma ser mais instáveis a quaisquer mudanças das condições operacionais e também apresentam maiores problemas de inibição do processo, sendo assim, a faixa mais utilizada e mesófila (UNIDO, 2013).

O parâmetro cinético diretamente afetado pela temperatura é a velocidade específica de utilização do substrato. Na faixa de temperatura entre 20° C e 25° C, esse parâmetro assume valor inferior à metade daquele a 35° C (PROSAB, 1999).

A figura 3. Demonstra o efeito da temperatura no crescimento dos microrganismos metanogênicos.

Figura 3. Efeito da temperatura no crescimento das metanogênicas.



Fonte: Adaptado de Lettinga, Rebac e Zeeman (2001).

### ➤ pH

No processo de digestão anaeróbia, a faixa de pH ideal é o resultado das diversas reações que ocorrem. A condição ótima para que todo processo anaeróbico se desenvolva adequadamente em um único digestor considerando a maioria dos autores é entre 6,8 e 7,2 (OLIVEIRA, 1993). Cada grupo bacteriano presente no processo apresenta níveis de atividade ideais, dentre os seguintes valores:

➤ Bactérias fermentativas: entre 7,2 e 7,4

- Bactérias acetonêmicas: entre 6,0 e 6,2
- Bactérias metanogênicas: entre 6,5 e 7,5

O valor do pH não só determina a produção de biogás, mas também sua composição. O pH reduz quando a capacidade de tamponamento do sistema se esgota, ou seja, quando ocorre acúmulo de ácidos orgânicos. Normalmente, o valor do pH se neutraliza pelo efeito tampão do carbonato e da amônia (UNIDO, 2013).

As características do dejetos suíno apresentam boas condições de tamponamento durante certo tempo, que impedem a queda do pH. É preciso acompanhar simultaneamente o pH, alcalinidade e ácidos voláteis para poder ter um acompanhamento mais seguro do processo (OLIVEIRA, 1993).

#### ➤ **Nutrientes**

No processo de decomposição anaeróbica cada organismo envolvido tem uma necessidade específica de vitaminas, micro e macronutrientes. A atividade e taxa de crescimento das diversas populações estão condicionadas à disponibilidade desses nutrientes. Para que a dose de nutrientes seja adequada e suficiente, a relação C:N:P:S no reator deve ser aproximadamente 600:15:5:3 (CIDADES, 2010).

O processo de digestão anaeróbica apresenta baixa necessidade de nutrientes comparado aos processos aeróbicos, devido aos baixos índices de produção de biomassa. Entretanto, a proporção adequada entre micro e macronutrientes é um pré-requisito essencial para a estabilidade do processo (CIDADES, 2010; UNIDO, 2013).

Os micronutrientes essenciais para as bactérias metanogênicas são níquel (Ni), cobalto (Co), molibdênio (Mo), ferro (Fe), selênio (Se) e tungstênio (W) e para as bactérias hidrolíticas zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn). Na codigestão de vários substratos, geralmente há micronutrientes suficientes disponíveis, especialmente na codigestão de dejetos com outros substratos (WELLINGER et al. 2013).

#### ➤ **Alcalinidade**

Indica a capacidade do sistema para neutralizar ácidos ou para tamponamento. A alcalinidade se deve à presença de hidróxidos, carbonato e bicarbonato de cálcio, magnésio, sódio, potássio e amônio (UNIDO, 2013).

Compostos como CO<sub>2</sub> e ácidos graxos voláteis de cadeia curta, tendem a consumir a alcalinidade do meio, enquanto cátions geradores de

alcalinidade, como íons de nitrogênio amoniacal advindos da degradação de proteínas, aumentam a alcalinidade e o pH (PROSAB, 1999).

Através do acompanhamento desse parâmetro, é possível impedir quedas bruscas do pH no sistema, muito importante para as bactérias metanogênicas que são sensíveis a essas variações (OLIVEIRA, 1993).

### ➤ **Ácidos Graxos Voláteis**

Este parâmetro é de controle específico dos digestores anaeróbicos. Os ácidos graxos voláteis (AGV) a considerar são: fórmico, acético, propiônico e valérico, ainda que os dois mais abundantes sejam o acético e o propiônico (UNIDO, 2013).

Uma alta produção de ácidos graxos voláteis pode consumir rapidamente a alcalinidade do meio e causar a redução do pH, visto que, a acidez do meio está diretamente relacionada com o pH e o com a alcalinidade. Quando as condições ótimas de digestão anaeróbia são prejudicadas, ocorre um aumento na concentração de ácidos voláteis, conseqüentemente um desequilíbrio do processo (AIRTON KUNZ et al., 2014).

Em um digestor maduro e estável, a concentração de AGV é inferior a 500 mg/l. A inibição não é alcançada até valores próximos a 5.000 mg/l (UNIDO, 2013).

### ➤ **Potencial redox**

O potencial de oxi-redução (eh) nos fornece uma indicação capacidade de redução do meio. Em geral, para digestores em bom funcionamento, o eh é da ordem de -500 mV (milivolts), indicando elevado estado de anaerobiose e capacidade redutora do meio. Quando o processo está em desequilíbrio, com predominância da fase ácida, ocorre uma elevação do eh para cerca de -300 mV, o que indica ainda a existência de anaerobiose, mas, também, a ocorrência de substâncias não completamente reduzidas, como os ácidos voláteis (OLIVEIRA, 1993).

### ➤ **Relação Carbono/Nitrogênio**

A relação C/N é indica a suscetibilidade de um material a ser biologicamente degradado. Os microrganismos necessitam de carbono e nitrogênio para seu desenvolvimento. Se a relação C/N é alta, não haverá nitrogênio suficiente e as bactérias não poderão produzir as enzimas necessárias para assimilar o carbono, caso contrário, uma relação C/N baixa produz um excessivo desenvolvimento de microrganismos. Geralmente, o valor ideal da relação C/N para que um processo biológico possa ser iniciado está compreendido entre 20 e 30 (UNIDO, 2013).

O carbono é a principal fonte de alimentação das bactérias e componente do biogás. Procedente de hidratos de carbono contidos na biomassa (celulose e açúcares), que serão degradados pelos microrganismos para seu crescimento.

O nitrogênio é uma fonte importante para síntese de proteínas dos organismos vivos. Déficit de nitrogênio no sistema não permite que as bactérias metabolizem todo o carbono presente, o que significa perda de eficiência na degradação. Já o excesso de nitrogênio no meio provoca inibição do crescimento, especialmente das metanogênicas, ou redução das bactérias, pelo fato de acumular  $\text{NH}_3$  no meio.

### ➤ **Toxidade e inibição**

Alguns componentes da matéria prima podem ter efeito negativo nos microrganismos dentro do biodigestor, causando desequilíbrio ou cessando completamente a atividade biológica nos piores casos. Os efeitos inibitórios dependem da concentração em que aparecem no substrato, e outras condições dentro do digestor, como a temperatura que desempenha papel importante no efeito tóxico de determinados compostos. É importante conhecer e monitorar os compostos presentes no substrato que possam inibir o processo de digestão e, quando possível, adaptar o consórcio de microrganismos às substâncias tóxicas (WELLINGER et al. 2013).

As bactérias metanogênicas geralmente são as mais sensíveis, embora todos os microrganismos sejam afetados (UNIDO, 2013).

As principais formas de inibição na digestão anaeróbia são:

- Substâncias geradas como produto intermediário:  $\text{H}_2\text{S}$ , AGV,  $\text{H}_2$ , etc.
- Substâncias que entram no biodigestor acidentalmente:  $\text{O}_2$  e tóxicos.
- Substâncias que acompanham a alimentação: antibióticos e metais.
- Demais substâncias como: Amônia livre, cianeto, compostos clorados e compostos com ligação carbono-carbono insaturadas.

Os principais indicadores que o processo de digestão está sofrendo inibição são:

- Acúmulo de AGV no biodigestor
- Mudanças na composição do biogás

## ***II. Concentração mínima de produtos intermediários / Parâmetros de operação***

### ➤ **Homogeneização**

Os mecanismos de homogeneização, sejam eles por retorno de gás produzido, recirculação de lodo, agitação mecânica ou liberação de gás em bolhas, permitem uma maior interação entre os microrganismos e o substrato, evitando a formação de zonas mortas, onde ocorre sedimentação de lodo podendo ocasionar perda da capacidade útil do reator (BOHRZ, 2010).

A mistura ajuda a prevenir estratificação, gradientes de temperatura, deposição de sólidos e espuma, e formação de crosta. Ao fazer isso mantém condições física, química e biológica uniformes no biodigestor e minimiza curto circuito no designe do CSTR. Na perspectiva biológica, os sistemas de mistura promovem maior contato entre a biomassa e o substrato, distribui a matéria-prima efetivamente e, em um CSTR, dilui as substâncias inibidoras (WELLINGER et al. 2013).

### ➤ **Tempo de residência hidráulico (TRH)**

O TRH descreve o período de tempo teórico que o substrato permanece no biodigestor. Descreve o tempo médio de retenção, que na realidade, se desviar muito desse valor, especialmente em reatores CSTR, pode estar ocorrendo curto-circuito. O TRH deve ser escolhido para permitir a degradação adequada do substrato sem aumentar muito o volume do biodigestor (WELLINGER et al. 2013).

Define-se como o quociente entre o volume do digestor e o volume diário de carga, velocidade volumétrica de fluxo ou vazão. Como descrito segundo a equação 1.

Equação 1. Tempo de residência Hidráulico

$$TRH \text{ (dias)} = \frac{V(m^3)}{Q\left(\frac{m^3}{\text{dias}}\right)}$$

É o parâmetro que nos permite controlar a vazão do efluente tratado. Os TRH se relacionam com dois fatores, o tipo de substrato e a temperatura do mesmo. A escolha de uma gama de temperaturas mais altas levaria a uma redução nos tempos de retenção requeridos e, portanto, serão menores os volumes de digestor necessários para um determinado volume de material (UNIDO, 2013).

### ➤ **Tempo de retenção de sólidos (TRS)**



O tempo de retenção de sólidos é definido como "a massa de microrganismos no digestor dividida pela massa de microrganismos eliminada do sistema a cada dia". É importante controlar o TRS já que quando é muito curto, produz-se uma lavagem de microrganismos. Quando, do contrário, pode acontecer que o sistema seja limitado pelos nutrientes. O TRS faz com que os microrganismos tenham condições ideais de crescimento dentro do digestor, e muda a ecologia microbiana do sistema (UNIDO, 2013).

### ➤ Carga Orgânica Volumétrica

A carga orgânica volumétrica (COV) ou velocidade de carga orgânica é definida como a massa de sólidos voláteis adicionada todos os dias por volume de biodigestor, expressa em quilogramas de SSV por dia por m<sup>3</sup> de biodigestor. Para biodigestores do tipo CSTR, a COV é tipicamente entre 2 e 3 kg (SSV (m<sup>3</sup> dia)<sup>-1</sup>). Pode aumentar para 4 ou até mesmo 5 kg (SSV (m<sup>3</sup> dia)<sup>-1</sup>), mas quanto maior as cargas orgânicas, mais sensível o sistema se torna e mais monitoramento é necessário (WELLINGER et al. 2013).

A velocidade de carga orgânica pode ser calculada através da equação 2.:

Equação 2. Carga Orgânica Volumétrica

$$COV \left( \frac{kg \text{ SV}}{m^3 \cdot dia} \right) = \frac{\text{Entrada de substrato} \left( \frac{m^3}{dia} \right) \times C_{SV} \left( \frac{kg \text{ SV}}{m^3} \right)}{\text{volume do digestor} (m^3)}$$

Onde: C<sub>SV</sub> = Concentração de sólidos voláteis  $\left( \frac{kg \text{ SV}}{m^3} \right)$

A velocidade de carga orgânica se relaciona com o TRH conforme a equação 3.:

Equação 3 Relação entre COV e TRH

$$COV \left( \frac{kg \text{ SV}}{m^3 \cdot dia} \right) = \frac{C_{SV}(kg \text{ SV}/m^3)}{TRH}$$

Se a taxa de carga na digestão anaeróbica é muito alta para as condições do sistema, as duas vias de metanogênese podem ser inibidas, o que pode resultar na acumulação de ácidos graxos voláteis no digestor. A presença de AGV reduz o pH no digestor e pode conduzir à acidificação

ou parada do mesmo. Portanto, é muito importante que a velocidade de carga orgânica de desenho seja conservadora (UNIDO, 2013).(CIDADES, 2010)

### ➤ **Composição do biogás**

No geral, o biogás é composto majoritariamente por CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, sendo outros gases como o H<sub>2</sub>S, H, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, vapor de água e demais gases traços presentes em concentrações baixas.

A Tabela 5. apresenta os principais gases que compõe o biogás e suas faixas de concentrações.

Tabela 5. Composição média do biogás.

<b>Gás</b>	<b>Representação química</b>	<b>Concentração (%)</b>
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	50 - 75
<b>Gás Carbônico</b>	CO <sub>2</sub>	25 - 45
<b>Água</b>	H <sub>2</sub> O	2 - 7
<b>Sulfídrico e outros</b>	H <sub>2</sub> S, CO, NH <sub>3</sub>	20 – 20.000 ppm
<b>Nitrogênio</b>	N <sub>2</sub>	< 2%
<b>Oxigênio</b>	O <sub>2</sub>	< 2%
<b>Hidrogênio</b>	H <sub>2</sub>	< 1%

Fonte: Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização. (CIDADES, 2010)

Desses componentes, o de maior importância é o metano, o qual representa a parte combustível do biogás, dessa forma, seu teor influencia diretamente o poder calorífico inferior do biogás. A composição do biogás depende principalmente do tipo de substrato utilizado, ou seja, seus teores de gorduras, proteínas e carboidratos. (CIDADES, 2010)

### **III. Aumentar a velocidade da etapa limitante global do processo**

As bactérias são as principais responsáveis pela degradação anaeróbica dos compostos orgânicos, proporcionar condições favoráveis a elas é indispensável o sucesso do processo. A composição do substrato pode limitar a fase de hidrólise dos compostos orgânicos complexos, e determinar as características do biogás. Dessa forma é importante que haja, quando necessário, um pré-processamento adequado do substrato, afim de otimizar a hidrólise. As bactérias metanogênicas, por sua vez, são muito sensíveis a mudanças do meio e compostos tóxicos inibidores.

### 3.9 BIOGÁS E ENERGIA

De acordo com os estudos realizados pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana (USEPA, 2011) o biogás produzido nos digestores anaeróbios é viável como combustível para a geração de eletricidade e de calor.

A produção total de biogás depende fundamentalmente da quantidade de substrato eliminado no processo. Este substrato costuma ser expressado pelos sólidos voláteis. O biogás, devido ao metano, possui um poder calorífico aproximado de 4.500 a 5.600 Kcal m<sup>-3</sup>. O poder calorífico do biogás está determinado pela concentração de metano (8.500 Kcal m<sup>-3</sup>), podendo aumentar eliminando parte do CO<sub>2</sub> presente no biogás. O potencial calorífica inferior do biogás é de aproximadamente 5.250 Kcal m<sup>-3</sup>, para uma riqueza em metano de 60% (UNIDO, 2013).

Geralmente suas principais aplicações são combustão direta para a produção de calor e em motores de cogeração produzindo eletricidade e calor. Outros usos que estão adquirindo cada vez maior importância são sua utilização como combustível em veículos a motor e sua injeção na rede de gás natural (UNIDO, 2013).

### 3.10 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS

Os testes de PBB monitoram o volume de biogás gerado em uma fração de substrato adicionada ao reator, avaliando a capacidade de biodegradação dos resíduos através da produção total de CH<sub>4</sub>. Os ensaios são monitorados através de medições constantes de pressões, temperaturas internas além da pressão ambiente. Esse tipo de ensaio é de significativa importância, pois essa é uma das primeiras etapas quando se pensa na biodigestão anaeróbia como estratégia de tratamento de resíduos

Com objetivo de obter dados que sejam considerados representativos, infere-se que os testes de PBB devam ser feitos com elevado nível técnico-científico e sob condições controladas. Visto que, os ensaios consistem na avaliação da taxa de síntese de biogás a partir de uma carga orgânica aplicada ou na concentração de sólidos voláteis presentes, tanto no substrato, quanto no inóculo.

Dessa forma, os ensaios devem seguir determinadas normas para aferição e validação dos dados obtidos.

A norma alemã DIN 38414-8 estabelece algumas condições básicas necessárias para a realização de ensaios em batelada com a

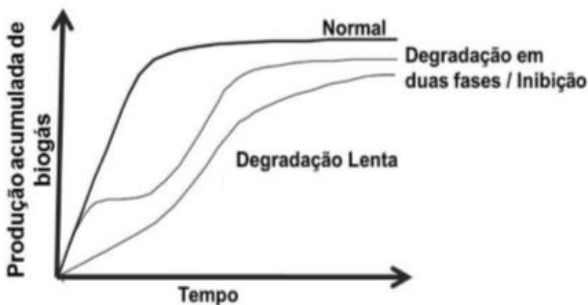
finalidade de avaliar a degradação anaeróbia de determinados compostos orgânicos por meio de testes volumétricos na produção de metano.

Outra norma alemã utilizada é a VDI 4630, considerada um complemento da norma DIN 38414-8, pois os ensaios além de serem realizados em batelada, podem ser semi-contínuos e contínuos. Os mesmos também podem ser aplicados na avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos. É utilizada amplamente na União Europeia para avaliação do PBM de diferentes substratos orgânicos.

Nos ensaios, uma curva de produção acumulada de biogás é plotada em função do tempo. Os padrões da curva indicam as características do substrato e a facilidade com que ele é degradado.

A figura 4. mostram algumas das curvas típicas da produção de biogás

Figura 4 Curva cumulativa da produção de biogás



Fonte: Adaptado VDI (2006)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho em questão está orientada nos seguintes pontos:

- Caracterização de uma granja, substratos e ensaios;
- Estimativas da mortalidade, quantidade de resíduos gerados e produção de biogás da codigestão.

#### 4.1 LOCAL DE ESTUDO

A unidade São Roque, localizada em Videira/SC, é na realidade dividida três unidades distintas, São Roque I, II e III. As quais foram construídas pela empresa Perdigão Agroindustrial SA, atual BRF, na década de 70. Em 2003 foi adquirida por proprietários particulares, passando em 2011 a posse para a Master Agroindustrial Ltda.

A Granja São Roque, dedica-se a produção de leitões para venda, ao atingirem aproximadamente 20kg. A divisão do plantel entre três sítios objetiva facilitar a administração da granja.

No sítio 1 e 2 se concentram os partos e criação de leitões em creche. Figura 5.

Figura 5. São Roque I e II



Fonte: gsaoroque.com.br

O sítio 3 dedica-se a manutenção das matrizes em gestação e a criação de marrãs. O lote de marrãs tem a função de repor as matrizes quando do descarte dos animais. Figura 6.

Figura 6. São Roque III



Fonte: gsaoroque.com.br

A unidade possui capacidade de cerca de 10.000 matrizes e produção média anual de 270.000 suínos/ano. A granja possui animais nas fases de gestação, maternidade, creche e preparo gestacional.

O sistema de tratamento dos dejetos na granja é dividido em etapas. A tecnologia adotada é definida como SISTRATES (Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura) é um processo que permite obter um alto nível de tratabilidade dos efluentes da suinocultura.

A tecnologia baseia-se na separação física de sólidos, seguida da biodigestão anaeróbia, remoção biológica de nitrogênio por nitrificação e desnitrificação e precipitação química de fósforo.

O SISTRATES pode ser aplicado de maneira modular e adicional, de acordo com as necessidades de tratamento (módulo bio + módulo n + módulo p).

A Figura 7. mostra o SISTRATES da granja estudada.

Figura 7. SISTRATES Granja São Roque.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS GERADOS

Para estimativa das taxas de mortalidade, bem como, da quantidade de resíduos gerados, foram utilizados relatórios mensais disponibilizados pela Master Agroindustrial Ltda. do período de 01 de janeiro de 2016 até 28 de setembro de 2018, os dados foram trabalhados em relação a movimentação do plantel e a mortalidade (plantel reprodutivo, maternidade, desmamados) e produção de dejetos. Os valores de referência adotados de peso vivo de suínos para cálculo da quantidade de carcaça gerada são os mesmos adotados pela Rede BiogásFert (MITO et al., 2018)., e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores adotados para peso vivo de suínos.

Descrição	Categoria	Peso vivo (kg)
Suínos	Maternidade <sup>1</sup>	3
	Leitão creche <sup>2</sup>	15,93
	Crescimento e terminação <sup>2</sup>	73,25
	Matriz (fêmea ou macho) <sup>1</sup>	215

Fonte: <sup>1</sup>American Society of Agricultural and Engineers (2003). <sup>2</sup>Tavares (2016).

## 4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

➤ **CARCAÇA:** A caracterização das carcaças é um passo fundamental no entendimento do processo de biodigestão anaeróbia, conhecer o substrato é indispensável no entendimento da conversão da matéria orgânica em biogás. As características do substrato definem qual os organismos vão estar envolvidos e quais serão os subprodutos gerados.

● **Matriz:** A carcaça suína da matriz é oriunda de uma UPD da Embrapa Suínos e Aves localizada em Concórdia/SC. A matriz que pesava 270 kg foi triturada inteira em triturador de suínos mortos TBR – 02 S da empresa TBR – Trituradores Brasil. Em seguida processado em um moedor de carne industrial, sem placa porosa. O material foi conduzido a uma misturadora de massas da empresa Confrimaq por 1 hora. O material moído foi pesado em uma balança de precisão da marca Bel, modelo KL 16001, dividido em alíquotas de aproximadamente 500 g, embalados em sacos plásticos e armazenados em câmara fria de congelamento a uma temperatura de -10°C.

• **Suíno da creche:** Foram utilizados para os experimentos dois suínos não eviscerados, com peso médio de 25 kg e 63 dias de idades, oriundos das granjas da Embrapa Suínos e Aves. Os animais foram triturados três vezes em triturador de suínos mortos TBR – 02 S da empresa TBR – Trituradores Brasil. Em seguida processado em um moedor de carne industrial, sem placa porosa. O material foi conduzido a uma misturadora de massas da empresa Confrimaq por 20 minutos. O material moído foi pesado em uma balança de precisão da marca Bel, modelo KL 16001, dividido em alíquotas de aproximadamente 150 g, embalados em sacos plásticos e armazenados em câmara fria de congelamento a uma temperatura de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

➤ **DEJETO SUÍNO:** O dejetosuíno foi coleta na granja Master São Roque II.

As amostras foram caracterizadas quanto ao pH, sólidos totais, sólidos voláteis, segundo APHA (2012). As concentrações de nitrogênio total (NT) e proteínas foram determinadas em analisador elementar Thermo-Scientific TM Flash 2000 CHNS/O, baseado no método Dumas (Waltham, MA, USA), segundo as recomendações do fabricante.

#### 4.4 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE BIOGÁS

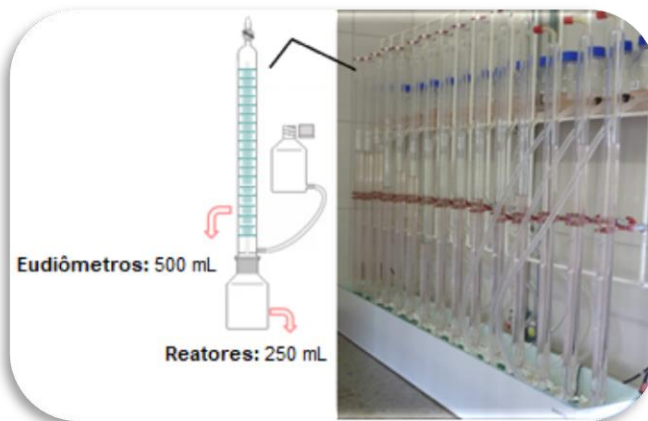
Foram avaliados o PBB das carcaças de matriz suína de 270 kg e de suíno da creche com 25 kg e do dejetosuíno. Os experimentos foram conduzidos em batelada e em triplicata, por meio de reatores de 250 mL vinculados a tubos eudiômetros de 500 mL. O sistema foi mantido banho maria, sem agitação em temperatura mesofílica ( $37^{\circ}\text{C}$ ), de acordo com as normas VDI 4630 (VDI, 2006) e DIN 38414-8 (DIN, 1985). A produção de biogás foi avaliada diariamente até sua estabilização, quando a produção diária de biogás foi igual ou inferior a 1% do total produzido (VDI, 2006).

Com objetivos de padronizar o ensaio, foi realizado o teste do PBB do inóculo, para isso foram adicionadas 250 g de inóculo enriquecido e aclimatado com 2,3% de SV da amostra, o pH inicial foi 7,82. Para a carcaça da matriz de 270 kg, foram utilizadas 4,63 g de amostra, com 51,52% de SV na amostra e relação SV/ST de 94,76%, o pH inicial foi 7,89. Já para a carcaça do suíno na fase de creche, foram utilizadas 9,13 g de amostra, com 25,65% de SV na amostra e relação SV/ST de 91,84%, o pH inicial da amostra foi 7,85. Para o dejetosuíno analisado, foram utilizadas



39,96 g de amostra, com 5,11% de SV e relação SV/ST de 80,81%, o pH inicial foi de 7,54.

Figura 8. Eudiômetro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O inóculo de micro-organismos anaeróbios mesofílicos foi preparado a partir de partes iguais de: a) inóculo anaeróbio alimentado com dejetos suíno; b) inóculo anaeróbio de indústria de gelatina; c) dejetos bovino fresco, conforme descrito por Steinmetz, et al. 2016.

#### 4.5 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Para os cálculos de potencial de produção de biogás foi utilizada a equação descrita abaixo:

$$PB = \frac{(AM + RP) * PBB}{1000}$$

Onde:

PB: potencial de produção de biogás ( $m^3 \text{ dia}^{-1}$ )

AM: animais mortos ( $kg \text{ dia}^{-1}$ )

RP: resíduos de parto gerados ( $kg \text{ dia}^{-1}$ )

PBB: Potencial bioquímico de biogás ( $L_{Nbiogás} \text{ kg}_{MFadic}^{-1}$ )

A produção de biogás foi calculada com base na produção diária de carcaças e restos de parto gerados na granja, multiplicado pelo potencial bioquímico de biogás dos mesmos, obtidos através do teste PBB. Os resultados foram calculados em metros cúbicos diários e anuais.

Para as matrizes, machos e leitoas foi considerado o PBB obtido para matriz de 270 kg. Já para os leitões na maternidade, creche e restos de parto, foi considerado o PBB do suíno na creche com peso médio de 25 kg.

Para os cálculos de potencial de produção de biogás do dejetos suíno, foram considerados apenas o volume de dejetos produzido na São Roque I e III, pois devido a distância entre as unidades torna-se difícil o recalque do dejetos para um único sistema de tratamento. Foi considerado o volume de  $45 \text{ L}_{\text{dejetos}} \cdot (\text{animal.d})^{-1}$ , conforme dados reportados pela unidade produtora. Conforme equação abaixo:

$$PBD = VD * PBB$$

Onde:

PBD: potencial de produção de biogás ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ )

VD: volume de dejetos ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ )

PBB: Potencial bioquímico de biogás ( $\text{L}_{\text{Nbiogás}} \text{ L}_{\text{dejetoadic}}^{-1}$ )

## 5 RESULTADOS E DISCUSÕES

### 5.1 TAXAS DE MORTALIDADE DA GRANJA

As taxas de mortalidade variam conforme a idade dos animais, estação do ano, consumo de ração, número de animais por área, entre outros. Investimentos em manejos, atenção individualizada, ambiência de maternidade, entre outros, certamente contribuirão para reduzir a mortalidade de animais (MACHADO, 2014).

A forma como os animais são manejados entre os lotes, e o nível de higienização dos funcionários envolvidos, também são importantes na prevenção de transmissão de patógenos, principalmente nas fases de creche e maternidade, onde os animais são mais suscetíveis a doenças.

Outros fatores como mortalidade embrionária, natimortalidade, podem influenciar negativamente na eficiência reprodutiva reduzindo o número de leitões desmamados/fêmea/ano e com isso causando prejuízo ao produtor (AUGUSTO et al., 2006).

A Tabela 7. apresenta as taxas de mortalidade ocorridos durante o período estudado.

Tabela 7. Taxa de mortalidade.

Ano	Mortalidade %		
	2016	2017	2018
<b>Matrizes (ativas)</b>	11,35	9,91	8,19
<b>Maternidade</b>	12,97	12,83	13,10
<b>Creche</b>	6,80	4,10	0,00
<b>Machos (ativos)</b>	26,83	2,50	16,22
<b>Leitoas</b>	7,46	10,51	5,87
<b>Leitões-Parto</b>	8,17	7,59	7,46

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.2 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADOS NOS ÚLTIMOS 2 ANOS

Os resíduos de origem animal gerados na granja são oriundos de mortalidade e da fase de reprodução. Para estimar a quantidade de resíduo, foi multiplicado o número de animais mortos por o peso médio

dos animais e, os partos ocorridos pelo peso médio de resíduos gerados no parto.

A tabela 8. traz os valores de resíduos gerados diariamente na granja.

Tabela 8. Quantidade de resíduos gerados diariamente por respectivo ano.

<b>Plantel</b>	<b>Resíduos gerados (kg. dia<sup>-1</sup>)</b>			
	Peso médio (kg)	2016	2017	2018*
<b>Matrizes</b>	215	595,52	522,48	586,87
<b>Maternidade</b>	3	277,55	295,95	318,41
<b>Creche</b>	15,93	675,56	438,49	0,00
<b>Machos</b>	215	6,48	0,59	1,59
<b>Leitoas</b>	215	43,00	60,67	44,59
<b>Restos de Parto</b>	5	285,62	288,30	288,83
<b>Total</b>		1883,72	1606,48	1240,30

Fonte: Elaborado pelo autor, \* dados até setembro de 2018.

O número de animais alojados na granja deve estar atrelado a capacidade de destinação de cadáveres e demais resíduos da produção animal. Dessa forma, o grande volume de resíduos torna-se um sério problema a ser enfrentado. A destinação adequada é crucial para a biossegurança da granja e, a digestão anaeróbica é uma alternativa interessante quando se pensa em estabilização da matéria orgânica e aproveitamento do biogás

A tabela 9. Apresenta os valores de dejetos gerados diariamente.

Tabela 9 Quantidade de dejetos gerados diariamente por respectivo ano.

	<b>Dejeto (m<sup>3</sup>. dia<sup>-1</sup>)</b>			
	Volume (L.(animal.d) <sup>-1</sup> )	2016	2017	2018*
<b>Dejeto</b>	45	285	281	275

Fonte: Elaborado pelo autor, \* dados até setembro de 2018.

### 5.3 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

A caracterização das amostras é a primeira etapa para entender o processo de biodigestão anaeróbica.

Ao analisar a série de sólidos (ST e SV), os percentuais encontrados para relação SV/ST da matriz e do suíno na creche foram de 96,5% e 91,8% respectivamente. Infere-se que a desidratação tenha favorecido a volatilização de um grande percentual de teor de água e a quebra de algumas moléculas de compostos mais complexos, indicando boas condições para produção de biogás.

O pH das amostras são semelhantes, levemente acidificado. Os valores de proteínas e nitrogênio são relativamente altos, e no processo de digestão anaeróbia pode ocasionar perturbações no processo, devido ao acúmulo de produtos intermediários.

A Tabela 10. Apresenta a caracterização das carcaças e do dejetos suíno.

Tabela 10. Caracterização das carcaças e dejetos suíno.

	ST (%)	SV (%)	pH	Proteínas (%)	Nitrogênio (g/kg)
<b>Matriz</b>	51,7	49,9	6,1	11,7	17,8
<b>Suíno Creche</b>	27,93	25,65	5,9	15,05	24,08
<b>Dejeto</b>	2,1	1,5	7,49	-	1,01

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores de SV apresentados nas amostras analisadas sugerem que a carcaça animal é um excelente substrato para a biodigestão anaeróbia. (RAJAGOPAL; CANADA; SAADY, 2014)

Os resultados dos testes de potencial bioquímico de biogás (PBB), e as concentrações de metano são apresentados na tabela 11.

Tabela 11. Potencial Bioquímico de Biogás (PBB) e concentração de metano das amostras.

Amostra	PBB (mL <sub>N</sub> biogás g <sub>S</sub> V <sub>adc</sub> )	CH <sub>4</sub> (%)
<b>Matriz</b>	1190	62
<b>Suíno Creche</b>	999	57
<b>Dejeto suíno</b>	387	62

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste PBB demonstrou que os resíduos de carcaça analisados apresentam grande potencial de produção de biogás, além disso, a porcentagem de CH<sub>4</sub> presente nas amostras do biogás são consideradas atraente.

#### 5.4 ESTIMATIVA DO VOLUME DE BIOGÁS QUE PODE SER PRODUZIDO AO UTILIZAR AS CARCAÇAS E RESÍDUOS DE PARTO COMO COSUBSTRATO NOS BIODIGESTORES

A produção de biogás a partir dos resíduos animais é considerável, tornando dos biodigestores uma alternativa interessante para disposição final desse tipo de resíduo.

No estudo em questão, a granja considerada já possui um reator do tipo CSTR para tratamento da fração sólida dos efluentes suinícolas, o qual pode ser utilizado também para destinação dos resíduos de parto e mortalidade. A codigestão de dejetos/carcaça apresenta características interessantes e alto potencial de produção de biogás.

O volume de biogás calculado com base na geração diária de resíduos animais e os resultados do teste PBB é apresentado na tabela 12.

Tabela 12. Volume teórico de biogás produzido diariamente a partir de resíduos de parto e mortalidade por ano.

Plantel	PBB (mL <sub>N</sub> biogás gSV <sub>adc</sub> )	Biogás (m <sup>3</sup> . dia <sup>-1</sup> )		
		2016	2017	2018*
<b>Matrizes</b>	1190	365,11	320,33	359,81
<b>Maternidade</b>	999	71,16	75,88	81,64
<b>Creche</b>	999	173,21	112,43	0,00
<b>Machos</b>	1190	3,97	0,36	0,98
<b>Leitoas</b>	1190	26,36	37,20	27,34
<b>Restos de Parto</b>	999	73,23	73,92	74,06
<b>Total</b>		713,06	620,12	543,82

Fonte: Elaborado pelo autor, \* dados até setembro de 2018.

A tabela 13. Traz os valores de produção de biogás considerando a monodigestão de dejetos suíno.

Tabela 13. Volume teórico de biogás produzido diariamente a partir do volume de dejetos produzido.

Plantel	PBB (mL <sub>N</sub> biogás gSV <sub>vadc</sub> )	Biogás (m <sup>3</sup> . dia <sup>-1</sup> )		
		2016	2017	2018*
<b>Matrizes</b>	387	2.347	2.314	2.264

Fonte: Elaborado pelo autor, \* dados até setembro de 2018.

Ao considerar a codigestão de dejetos com os resíduos de parto e mortalidade a produção de biogás terá um acréscimo considerável, a tabela 14. apresenta os valores considerando a codigestão e, os percentuais de acréscimo na produção de biogás comparado com a monodigestão de dejetos suínos.

Tabela 14. Produção de biogás total (dejetos + carcaças) e acréscimos em comparação a monodigestão de dejetos.

Ano	2016	2017	2018*
<b>Biogás (m<sup>3</sup>. dia<sup>-1</sup>)</b>	3.060,10	2.934,12	2.807,82
<b>Acréscimo (%)</b>	23,30	21,13	19,37

Fonte: Elaborado pelo autor, \* dados até setembro de 2018.

É importante considerar que os valores calculados de produção de biogás foram obtidos considerando potencial de produção de biogás das carcaças e restos de parto, além disso, esses valores foram obtidos em reatores vinculados a tubos eudiômetros e em condições controladas. Na prática, o processo depende de vários fatores que precisam ser monitorados e controlados, além disso, a recuperação do biogás não é total, podendo haver perdas no sistema.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados levantados a respeito da geração de dejetos e resíduos de parto e mortalidade animal. Pôde-se observar a geração de em média 280 m<sup>3</sup> de dejetos diariamente. Já os resíduos de parto mais a mortalidade animal, no ano de 2016 foram em média 1883 kg d<sup>-1</sup> gerados, em 2017 foram 1606 kg d<sup>-1</sup> e, 2018 foram 1240 kg d<sup>-1</sup>. Ou seja, grande quantidade de dejetos e resíduos gerados que necessitam de tratamento e disposição adequada.

A codigestão dos resíduos de parto e mortalidade animal com dejetos suínos em biodigestores apresenta-se como uma alternativa interessante para gerenciamento dos resíduos gerados na granja, além disso, a produção de biogás obtida da biodigestão dos resíduos de parto e mortalidade proporcionaria um acréscimo de aproximadamente 20% ao comparar com a monodigestão de dejetos suínos.

A vantagem de utilizar o biogás não é apenas a geração de energia, mas também uma possível solução para problemas relacionados ao manejo nas propriedades. Dessa forma, parte dessa energia poderia ser usada para suprir a necessidade nos sistemas de tratamentos, e outra nas instalações dos animais.

Os resultados deste estudo demonstraram que existe um potencial significativo para o uso de carcaças de suínos como recurso renovável para a produção de biogás.



## REFERÊNCIAS

- ABCS; SEBRAE. **Mapeamento da suinocultura brasileira**. p. 376, 2016.
- ABPA. Relatório anual 2018. **Relatório anual 2018**, p. 176, 2018.
- AIRTON KUNZ, MARTHA MAYUMI HIGARASHI, P. A. V. DE O. **Tecnologias para o Tratamento de Resíduos de Animais**. JULIO CESAR PASCALE PALHARES, LUCIANO GEBLER. **Gestão Ambiental na Agropecuária**, 1 edição, editores técnicos - Brasília, DF: Embrapa, 2014. capítulo 6, p. 236-283. volume 2
- AUGUSTO, L. et al. **Mortalidade , natimortalidade e mumificação fetal : fatores que influenciam a eficiência reprodutiva de suínos** ( Mortality , stillborn and fetal mummification : factors that influence the reproductive efficiency of swine ). v. VII, p. 1–9, 2006.
- BELLI FILHO, P. et al. Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 166–170, 2001.
- BHARATHIRAJA, B. et al. Biogas production – A review on composition, fuel properties, feed stock and principles of anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 90, n. April, p. 570–582, 2018.
- BOHRZ, G. I. Geração De Metano Em Lagoa Anaeróbia: Um Estudo De Caso Em Abatedouro De Bovinos. **Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.**, p. 153, 2010.
- CARLOS ANTÔNIO FERRARO BIASI, LEIDIANE FERRONATO MARIANI , ABNER GERALDO PICINATTO JOÃO CARLOS, C. Z. **Energias Renováveis na Área Rural da Região Sul do Brasil**. p. 202, 2018.
- CIDADES, M. DAS. **Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização**. Gülzow, v. 5, p. 233, 2010.
- DARTORA, V.; PERDOMO, CA. C.; TUMELERO, I. L. Manejo de dejetos de suínos. **Boletim informativo pesquisa EMBRAPA-CNPSA**, v. 7, n. 11, p. 1–22, 1998.
- DE AGUIAR PORTELA, Camila; DE CARVALHO, Luiz Euquerio. **SUINOCULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE**

**CARBONO.** Encontros Universitários da UFC, v. 1, n. 1, p. 3235. MIELE, M.; WAQUIL, P. D. Cadeia produtiva da carne suína no Brasil. Revista de Política Agrícola, v. 1, p. 1–18, 2007.

FATMA. **Instrução Normativa 11 - Suinocultura.** Fundação do Meio Ambiente - FATMA, p. 1–37, 2014.

FORMIGONI, A. DA S.; FONTES, DALTON DE OLIVEIRA. **Manejos de Maternidade na Produção de Suínos: Manejo nutricional do leitão na fase pré-desmame.** Produção de Suínos: Teoria e Prática, p. 590–597, 2014.

GAMARRA-ROJAS, G.; FABRE, N. Agroecologia e mudanças climáticas no Trópico Semiárido. **Redes - Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul**, v. 22, n. 2, p. 174–188, 2017.

IBGE. Indicadores IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, p. 14–49, 2018.

IMAFLOA. Relatório SEEG 2018 - **Emissões do Setor de Agropecuária.** 2018.

JULIANA ALVES DE RESENDE, CLÁUDIO GALUPPO DINIZ, VANIA LÚCIA DA SILVA, JAILTON DA COSTA CARNEIRO, MARLICE TEIXEIRA RIBEIRO, JÚNIOR CESAR FERNANDES LIMA, M. H. O. **Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica.** n. Circular Técnica 110, p. 5, 2012.

KRABBE, Everton Luis. **Destino de carcaça de animais mortos.** In: Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASIL SUL DE SUINOCULTURA, 10., BRASIL SUL PIG FAIR, 9., 2017, Chapecó. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2017. p. 92-103. KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. DE. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. Revista de Política Agrícola, n. 3, p. 28–35, 2006.

LIMA, A. R. DE; SANTOS, F. A. S. **ÍNDICES ZOOTÉCNICOS NA PRODUÇÃO DE LEITÕES.** p. 1191–1199, 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Guia Técnica De Aproveitamento De Biogás Em Estatacoes De Tratamento De Esgoto.** [s.l: s.n.].

MITO, JY DE L., ET AL. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil.** p. 56, 2018.

MLADENOVSKA, Z. et al. Thermal pretreatment of the solid fraction of manure: Impact on the biogas reactor performance and microbial community. **Water Science and Technology**, v. 53, n. 8, p. 59–67, 2006.

MMA. **Compostagem de Carcaças e Resíduos das Criação na Propriedade Rural**, 2006.

NICOLOSO, R. da S. et al. **Tecnologias para destinação de animais mortos na granja**. Embrapa Suínos e Aves-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E). OLIVEIRA, P. A. V. DE. Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos. Documentos / Embrapa, n. 27, p. 188, 1993.

OLIVEIRA, P. A. V. DE; HIRAGASHI, M. M. Unidade de compostagem para o tratamento dos dejetos de suínos. **Documentos / Embrapa**, v. 114, p. 39, 2006.

OLIVEIRA, P. A. V. Produção De Suínos Em Sistemas Sustentáveis. **Congresso Brasileiro de Produção Animal Sustentável**, p. 57–70, 2012.

PIATTO, M. et al. **Emissões do setor de agropecuária**. 2018.

PROSAB. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Prosab 2, n. 1, p. 436, 1999.

RAJAGOPAL, R.; CANADA, A.; SAADY, N. **Low-Temperature Anaerobic Co-Digestion of Swine Carcass and Swine Manure: Impact of High Swine Carcass Loading Rate**. Transactions of the ASABE, n. January, p. 1811–1816, 2014.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues et al. **Modelagem do consumo de água, produção de dejetos e emissão de gases de efeito estufa e amônia na suinocultura**. 2016.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). O Biogás. **Programa de Capacitação em Energias Renováveis**, p. 157, 2013.

WELLINGER, Arthur; MURPHY, Jerry; BAXTER, David. **The biogas handbook: science, production and applications**. Elsevier: Woodhead Publishing, 2013. 476 p.