



**UDESC**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DO OESTE – CEO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM NOVO SISTEMA DE CO-  
DIGESTÃO ANAERÓBIA PARA DESTINAÇÃO DE ANIMAIS  
MORTOS E DEJETOS SUÍNOS**

**KÁREN BES**

CHAPECÓ, 2018

**KÁREN BES**

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM NOVO SISTEMA DE CO-DIGESTÃO  
ANAERÓBIA PARA DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS E DEJETOS SUÍNOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Relação Clima-Solo-Planta-Animal da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), como requisito parcial para obtenção de grau de **Mestre em Zootecnia**.

**Orientadora: Prof. PhD. Lenita Moura Stefani**  
Coorientador: Prof. Dr. Diovani Paiano

**Chapecó, SC, Brasil**  
**2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com  
auxílio do programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CEO/UEDESC

Bes, Káren

Avaliação da eficiência de um novo sistema de co-  
digestão anaeróbia para destinação de animais mortos  
e dejetos suínos / Káren Bes. - Chapecó, 2018.

45 p.

Orientadora: Lenita Moura Stefani

Co-orientador: Diovani Paiano

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado  
de Santa Catarina, Centro de Educação Superior do  
Oeste, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia,  
Chapecó, 2018.

1. co-digestão anaeróbia. 2. digestor de animais  
mortos. 3. resíduos agroindustriais. 4.  
suinocultura. I. Moura Stefani, Lenita. II.  
Paiano, Diovani. , .III. Universidade do Estado de  
Santa Catarina, Centro de Educação Superior do  
Oeste, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV.  
Título.

Universidade do Estado de Santa Catarina  
Centro de Educação Superior do Oeste  
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM NOVO SISTEMA DE CO-DIGESTÃO  
ANAERÓBIA PARA DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS E DEJETOS SUÍNOS**

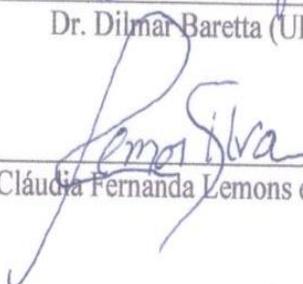
Elaborada por  
**Káren Bes**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Zootecnia**

Comissão Examinadora:

  
Dra. Lenita Moura Stefani (UDESC)

  
Dr. Dilmar Baretta (UDESC)

  
Dra. Cláudia Fernanda Lemons e Silva (UFPEL)

Chapecó, 12 de abril de 2018.

## AGRADECIMENTOS

A todos os seres divinos e terrenos que me auxiliaram nos momentos de insegurança, trazendo-me paz, objetividade e perseverança ao longo destes dois anos.

A minha família, por desde cedo incentivar a busca por novos conhecimentos, apoiando me em todos os sentidos constantemente. A minha mãe por ensinar-me e preocupar-se com meu equilíbrio emocional. Ao meu pai por me fornecer uma visão global e sistêmica do meu âmbito de trabalho e estudo. Ao meu irmão pelos conselhos e incentivos.

A Universidade do Estado de Santa Catarina-UDESC, por ter sido casa de muitos novos aprendizados.

A Bioter Proteção Ambiental Ltda pelo patrocínio e oportunidade de realização deste experimento como forma de desenvolvimento de uma nova tecnologia com grande impacto positivo na sustentabilidade da pecuária.

Aos senhores Adalberto Fontana e Roberto Fontana pela colaboração e disponibilização da área de estudo.

A Professora PhD Lenita Moura Stefani pela orientação e apoio ao longo de todo o trabalho e pelo grande incentivo e colaboração para sua realização, sempre motivando para seguir em frente.

Aos colegas de trabalho e amigos do grupo LABMIM (UDESC-Oeste), em especial as colegas Maiara Cristiane Brisola e Regiane Boaretto, pela ajuda, atenção e descontração durante a realização deste trabalho. Sem vocês com certeza não teria fluído de uma forma tão interessante.

Um agradecimento em especial a professora Glaucia Amorim Faria pelo auxílio nas análises estatísticas.

Aos meus queridos amigos de vida pelo compartilhamento dos momentos bons e difíceis e que por muitas vezes me auxiliaram e me incentivaram a entregar resultados de qualidade: Anita Avancini, Anderson Bach, Bianca Peruchini, Camila Fávero, Kássia Bazzo, Patrícia Schons e Nereu Petry.

A minha família chapecoense Karoline Dias e Franciele Arcari, por suportar todas minhas crises de ansiedade e apoiar me nos momentos de desânimo, com boas risadas e carinho.

A todos que de alguma forma influenciaram positivamente no meu crescimento profissional e pessoal durante estes anos de mestrado.

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia  
Universidade do Estado de Santa Catarina

### **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM NOVO SISTEMA DE CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA PARA DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS E DEJETOS SUÍNOS**

AUTORA: Káren Bes

ORIENTADORA: Prof. PhD. Lenita Moura Stefani

COORIENTADOR: Prof. Diovani Paiano

Chapecó, 21 de fevereiro de 2018.

O crescimento exponencial da população humana e sua conseqüente demanda por proteína de origem animal de elevada qualidade e baixo custo, estão causando progressivos impactos ambientais como, por exemplo, o destino inadequado de animais mortos e dejetos. O digestor de animais mortos de origem suína apresenta-se como um método proposto para o descarte deste tipo de material. Diante disto, este estudo teve por objetivo avaliar a eficiência de remoção de carga orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos no processo de co-digestão anaeróbia de animais mortos de origem suína inteiros e dejetos suínos, em um tempo de retenção hidráulica de 80 dias. As análises foram executadas em blocos no período de avaliação trimestral entre abril de 2017 e junho de 2017, em seis pontos do tratamento. Como resultados obtivemos a eficiência na remoção de DQO (87,88%) e DBO (83,57%) e sólidos totais (75%), estando estes dentro dos limites propostos pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011. Os valores de macro e micronutrientes foram condizentes com os parâmetros ambientais propostos pela legislação CONAMA nº 375/2006. Em relação ao nitrogênio total (2.222,00 mg l<sup>-1</sup>) e Limite Crítico Ambiental de Fósforo (333,30 mg dm<sup>-3</sup>) sugere-se uma avaliação agrônômica posterior para lançamento do efluente no solo. A inexistência de *Salmonella* spp e ovos de helmintos reforçam a adequação do sistema para o tratamento dos animais mortos. Portanto, a utilização do processo de digestão anaeróbia foi eficiente, podendo ser utilizado como método alternativo em substituição a compostagem e/ou outros métodos de disposição final de animais mortos.

**Palavras-chave:** co-digestão anaeróbia, digestor de animais mortos, resíduos agroindustriais, suinocultura.

## **ABSTRACT**

Master's Thesis

Animal Science Graduate Program

University of Santa Catarina State

### **EVALUATION OF A NEW ANAEROBIC CO-DIGESTION SYSTEM TO DISPOSAL OF DEAD ANIMALS AND MANURE OF SWINE ORIGIN**

AUTHOR: Káren Bes

ADVISOR: Prof. PhD. Lenita Moura Stefani

CO-ADVISOR: Prof. Diovani Paiano

Chapecó, February 21<sup>th</sup>, 2018.

There is an exponential growth of the human population and, consequently, a high demand for foods, including meat of good quality with low-costs. Intensive livestock production may cause progressive environmental impact, especially under inadequate disposal of animal carcasses and manure. The digester of dead animals of swine origin is presented as an alternative method for the disposal of this type of material. The objective of this study was to evaluate the removal efficiency of organic load, nutrients and pathogenic microorganisms in the process of anaerobic co-digestion to dispose dead animals and swine manure, using 80 days as the hydraulic retention time. The analyzes were performed in blocks during April to June of 2017, in six sampling points. According to the results, the efficiency of removal of COD (87.88%) and BOD (83.57%) and total solids (75%) were within the limits proposed by Resolution of the National Environmental Council (CONAMA) 430/2011. Macro and micronutrients were in agreement with the environmental parameters proposed by CONAMA legislation 375/2006. Regarding total nitrogen (2,222.00 mg l<sup>-1</sup>) and Critical Environmental Phosphorus Limit (333,30 mg dm<sup>-3</sup>), a thoroughly agronomic evaluation is suggested before releasing this effluent into the soil. The absence of *Salmonella* spp and helminth eggs indicates the suitability of the system for dead animals. Therefore, the use of the anaerobic co-digestion process was efficient and might be used as an alternative method to replace composting or other methods for animal disposal.

**Keywords:** anaerobic co-digestion, pig carcass digester, swine breeding, agroindustrial waste.

## SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I.....	7
REVISÃO DE LITERATURA .....	7
1.1 A IMPORTÂNCIA DA SUINOCULTURA BRASILEIRA .....	7
1.1.1 CENÁRIO ATUAL.....	7
1.1.2 IMPACTO AMBIENTAL DA ALTA PRODUÇÃO SUINÍCOLA .....	7
1.2 DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS DE ORIGEM SUÍNA .....	10
1.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS E LEGISLAÇÃO VIGENTE .....	10
1.2.2 ALTERNATIVAS EXISTENTES.....	11
1.3 CO-DIGESTOR DE ANIMAIS MORTOS E DEJETOS SUÍNOS COMO UMA NOVA PROPOSTA DE TRATAMENTO .....	12
1.3.1 O PROCESSO DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA .....	12
1.3.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA .....	16
1.3.3 DIGESTÃO DE ANIMAIS MORTOS DE ORIGEM SUÍNA .....	17
1.3.4 TRATAMENTO FINAL EM LAGOAS ANAERÓBIAS .....	20
1.4 OBJETIVOS .....	22
1.4.1 OBJETIVO GERAL .....	22
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
2. CAPÍTULO II.....	23
MANUSCRITO.....	23
2.1 MANUSCRITO .....	24
RESUMO .....	25
INTRODUÇÃO .....	26
MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	30
CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS DO MANUSCRITO.....	37
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	40
4. REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO.....	41

## 1. CAPÍTULO I

### REVISÃO DE LITERATURA

#### 1.1 A IMPORTÂNCIA DA SUINOCULTURA BRASILEIRA

##### 1.1.1 Cenário atual

A atividade suinícola, extensa fonte da proteína animal, apresenta-se como um importante fator no desenvolvimento econômico do país, promovendo efeitos multiplicadores de renda e emprego em todos os setores da economia brasileira. Segundo o Relatório Anual da Associação Brasileira de Proteína Animal (2017) o Brasil consolidou-se como o quarto maior produtor de proteína suína mundial: em 2017 foram produzidas cerca de 3.731 mil toneladas de carne suína, sendo que a região sul representou aproximadamente 69,30% da produção total da produção nacional.

A nível global, o Relatório Bianual elaborado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2015) estima o crescimento da produção mundial de carne suína dos principais mercados, até 2023. Nele, o Brasil permanece em quarto lugar com o segundo maior aumento na produção - 17,9% - elevando sua produção para 4,1 milhões de toneladas.

O cenário mundial aponta para o contínuo crescimento do consumo de alimentos, o que desperta a consciência coletiva para a necessidade de esforços mundiais que visem o aumento da produção, de forma a suprir a demanda e ainda reduzir os impactos nocivos ao meio ambiente (EDWARDS; OTHMAN; BURN, 2015). De um lado existe a pressão pela concentração de animais em pequenas áreas de produção e pelo aumento da produtividade e, do outro, que esse aumento não afete o meio ambiente.

##### 1.1.2 Impacto ambiental da alta produção suinícola

A expansão da suinocultura proporciona características de grande concentração de animais por área e, como consequência, o risco de poluição hídrica e no solo devido à presença de altas taxas de carga orgânica e coliformes fecais, é ampliado (OLIVEIRA; HIGARASHI; NUNES; 2004). Por isso, evidencia-se a necessidade de harmonizar a continuidade da atividade suinícola à preservação do meio ambiente, principalmente em

regiões onde a densidade animal é elevada e existe uma pressão mais acentuada sobre os recursos naturais (MIRANDA, 2005).

Diagnósticos recentes têm demonstrado níveis de contaminação dos rios e lençóis d'água, em decorrência da produção animal, em especial, pelo manejo inadequado dos resíduos da suinocultura. Alguns dos principais impactos ambientais negativos provocados pela destinação inadequada de resíduos são: o acúmulo de nitrato em águas superficiais e/ou subterrâneas; o aumento do teor de fósforo em águas superficiais, devido ao escoamento de material orgânico solúvel ou particulado, causado por enxurrada ou descarga direta nos cursos d'água, provocando eutrofização; a alta taxa de carga orgânica nos corpos d'água, com prejuízo para a fauna aquática (PALHARES, 2011).

A intensidade do fluxo de nutrientes através do animal no sistema solo-planta-animal excede, frequentemente, a capacidade dos outros componentes do sistema utilizarem eficientemente os elementos carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (GWYTHER et al., 2011). Muitas vezes as quantidades requeridas na produção animal intensiva diferem das que podem ser eficientemente aproveitadas pelo solo e pelas plantas (CQFS – RS/SC, 2016). Neste caso ocorrerá variações do pH do solo e acúmulo de metais pesados, tornando-o impróprio à produção de alimentos para consumo humano (CABRAL et al., 2011).

Adicionalmente, outro tipo de poluição é causada pela produção de suínos: aquela associada ao odor de seus dejetos, que ocorre devido a evaporação dos compostos voláteis, que se misturam com o ar como amônia, metano e sulfeto de hidrogênio, entre outros contaminantes (SILVA & MARQUES, 2004). Por isso, o acúmulo de dejetos pode criar um ambiente propício para proliferação de vetores transmissores de doenças, como moscas, mosquitos e ratos.

As mudanças climáticas globais são uma das principais consequências ambientais causadas pela ação humana deste século. Neste período houve um aumento de aproximadamente 1°C na temperatura média da Terra, causado principalmente pela intensificação dos gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (OLIVEIRA; HIGARASHI; NUNES, 2004). O gás metano atua mais na absorção da radiação solar na superfície da Terra do que o gás carbônico, contribuindo para a consolidação do efeito estufa. A concentração global deste gás tem aumentado a uma 1% ao ano, sendo que 80% deste tem origem biogênica, produzido por bactérias metanogênicas em condições de anaerobiose, como as geradas no tratamento de dejetos da pecuária (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Estimativas mais recentes indicam que o CH<sub>4</sub> gerado pelos dejetos da pecuária corresponde em torno de 5% a 10% do total gerado globalmente (MARTINEZ et al., 2003).

Paralelamente, a mortalidade de suínos em granjas brasileiras representa, por ano, cerca de 10% em leitões na fase de maternidade, 7% de matrizes e 1% de suínos em terminação (AMARAL et al., 2006), evidenciando o grande volume e impacto ambiental gerado pela produção de animais mortos, seja em escala mundial ou regional. Logo, o grande desafio das regiões com alta concentração de animais é a promoção de sistemas que englobem a sustentabilidade e biossegurança ambiental, sustentabilidade energética e a redução da emissão dos gases de efeito estufa (GEE).

O Brasil é um dos países que mais se dedica a essa discussão no âmbito internacional e, recentemente, estabeleceu legislação e políticas públicas específicas direcionadas para enfrentar o problema. Desde a reunião Rio 92, o país participa ativamente desse debate, o que culminou com os compromissos assumidos de redução de emissão de GEE, na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009 (COP 15), e com a promulgação da Política Nacional de Mudança do Clima (PNMC), ambos no ano de 2009.

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, também denominado Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), é um dos Planos Setoriais elaborados de acordo com a Política Nacional de Mudança do Clima (BRASIL, 2009), e tem a finalidade de organizar o planejamento das ações a serem realizadas para adoção das tecnologias sustentáveis de produção selecionadas para responder aos compromissos assumidos pelo país de redução na redução de emissão de GEE do setor agropecuário.

Dentre os objetivos específicos do plano estão os de contribuir para a consecução dos compromissos de redução da emissão de GEE assumidos voluntariamente pelo Brasil, no âmbito dos acordos climáticos internacionais e previstos na legislação; garantir o aperfeiçoamento contínuo e sustentado das práticas de manejo nos diversos setores da agricultura e pecuária brasileira que possam vir a reduzir a emissão dos GEE e, adicionalmente, aumentar a fixação atmosférica de CO<sub>2</sub> na vegetação e no solo. Dentre as ações propostas, destacam-se as capacitações de técnicos e agricultores, linhas de investimentos, criação de bancos de dados e índices de regulação de atividades e pesquisas (LIELI et al., 2017).

O plano é de abrangência nacional, sendo as práticas sustentáveis de baixa emissão de GEE desenvolvidas em cada região de acordo com a sua vocação produtiva, procurando

promover o desenvolvimento regional de maneira sustentável econômica, social e ambiental. O plano ABC é composto por metas que pretendem ser atingidas dentro de sete programas, que se ramificam em várias diretrizes, promovendo diversas atividades que visam restringir a emissão de GEE, e paralelamente contribuem para o desenvolvimento sustentável da agricultura (LIELI et al.,2017).

Segundo BRASIL (2012, p. 131) o Programa 6, intitulado Tratamento de Dejetos Animais é descrito como:

A correta destinação dos dejetos e efluentes originados a partir da criação de animais estabulados tem-se constituído como um importante fator que condiciona a regularidade ambiental das propriedades rurais. O tratamento adequado desses efluentes e dejetos contribui para a redução da emissão de metano que representa o equacionamento de um problema ambiental, além de possibilitar um aumento na renda dos agricultores, seja pelo composto orgânico produzido ou pela geração de energia automotiva, térmica e elétrica por meio do uso do biogás. Os processos de biodigestão e compostagem já são conhecidos e proporcionam a redução de custos de produção por evitar consumo de energia, insumos químicos, diminuir os riscos para o meio ambiente, bem como reduzir a emissão de GEE. Propõe-se disponibilizar a agricultores, cooperativas e associações que trabalham nas cadeias da suinocultura, bovinocultura e avicultura os investimentos e as infraestruturas adequadas e necessárias para a adoção de tecnologias de tratamento de dejetos e efluentes de animais.

Portanto, o sistema de digestão de carcaça de suínos mortos através da digestão anaeróbia transforma o CO<sub>2</sub>, antes emitido para atmosfera, em gás CH<sub>4</sub> – com alto poder calorífico para geração de energia, adequando-se perfeitamente aos objetivos propostos pelo Plano ABC do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

## 1.2 DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS DE ORIGEM SUÍNA

### 1.2.1 Características gerais e legislação vigente

A biodigestão anaeróbia surge como um dos métodos mais eficazes para a disposição final de animais mortos, uma vez que há uma carência de instruções técnicas pelos órgãos nacionais e a lacuna nas legislações que definem com clareza a destinação destes animais em propriedades rurais. Do mesmo modo, outros métodos comumente utilizados apresentam condições insalubres de operação e são associados a poluição ambiental.

Recentemente, a lei federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ressalta que o crescimento do setor agrosilvopastoril está diretamente relacionado ao aumento da geração de resíduos e, portanto, o seu manejo,

tratamento e disposição devem ser adequados. Adicionalmente, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012) institui como diretriz que estes resíduos deverão ser quantificados e identificados, a partir do Censo Agropecuário, bem como as regiões com maior potencial poluidor.

A fim de adequar os sistemas de produção de suínos, os órgãos públicos de proteção do meio ambiente são quem licenciam e monitoram as atividades pecuárias e seus impactos gerados. Em Santa Catarina, a Fundação do Meio Ambiente (FATMA) e, no Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) prezam pela preservação dos recursos naturais devido ao impacto gerado pelo lançamento de efluentes pecuários no solo, ar e água. Através de suas normativas para suinocultura, a disposição de animais mortos é requerida como obrigatória para fins de licenciamento. Nestas normativas, a compostagem é o método mais consolidado para destinação destes animais. Segundo Gwyther et al. (2011), além dos parâmetros para realização eficiente da compostagem exigirem controle intenso, ainda há a necessidade de redução das carcaças para melhoria da ação bacteriológica de degradação, gerando trabalhos insalubres, com maior risco de contaminação e produção de odores.

### **1.2.2 Alternativas existentes**

Os resíduos da produção animal necessitam ser manejados adequadamente de forma a mitigar os riscos que representam ao meio ambiente e ao *status* sanitário das cadeias produtivas (TEC-DAM, 2016). O método mais difundido para descarte de animais mortos impróprios para consumo é a compostagem convencional ou o enterramento. Ambos os casos são considerados defasados tecnicamente e de baixa eficiência, principalmente em unidades produtoras de médio e grande porte.

Diversos parâmetros devem ser considerados para que a compostagem ocorra com eficiência, tais como: pH, temperatura e taxa de aeração (SOTO et al., 2017). Frequentemente este processo não é bem controlado ocorrendo poluição ambiental gerada através dos aumentos da concentração de nitrogênio solúvel em solos e águas subterrâneas, odores, atração de vetores como roedores e insetos, disseminação de patógenos, entre outros, o que certamente desagrada as comunidades periféricas e acarreta riscos à saúde humana e animal.

Além da compostagem, existe o método da incineração que também polui o meio ambiente através da emissão de gases de efeito estufa, resultados da combustão incompleta ou não controlada dos resíduos gerados. Apesar do processo de incineração ser, do ponto de vista

sanitário, o mais seguro em relação ao controle de patógenos, a liberação de poluentes atmosféricos é igualmente nociva ao meio ambiente e à saúde humana (SOUZA et al., 2014a). Segundo Dias (2006) além dos gases de efeito estufa (GEE) lançados neste processo, as dioxinas e furanos também permanecem suspensas no ar após a incineração, em forma de material particulado.

A alta umidade dos animais mortos, cerca de 70%, desfavorece a sua incineração e faz-se necessário a utilização de altas temperaturas e injeção de ar, elevando o custo do sistema e gerando gases de efeito estufa como o gás carbônico (PAIVA; BLEY JR., 2001). Do mesmo modo, há diversos fatores de risco que envolvem o transporte, acondicionamento e tratamento inadequado dos animais mortos até o local da incineração, uma vez que a contaminação não permanece contida na propriedade geradora dos resíduos biológicos, comprometendo a sanidade ao longo da cadeia produtiva da proteína animal em questão (MARTINEZ et al., 2003).

Novas tecnologias envolvendo a desidratação e trituração dos animais mortos, bem como a aceleração da compostagem, também são delimitadas na sua consolidação no mercado pelo baixo controle das emissões de GEE e a baixa vida útil do produto. Ainda, o manuseio pelo ser humano dos animais mortos, principalmente o esquartejamento das mesmas, acarreta em um risco sanitário indiscutível para a saúde do trabalhador (SOUZA et al., 2014a).

### 1.3 CO-DIGESTOR DE ANIMAIS MORTOS E DEJETOS SUÍNOS COMO UMA NOVA PROPOSTA DE TRATAMENTO

#### 1.3.1 O processo de biodigestão anaeróbia

Em Bombaim na Índia no ano de 1857, surgia o primeiro biodigestor em um hospital de hansenianos com o intuito de produzir gás combustível (NOGUEIRA, 1992). Após, o processo anaeróbio descrito por Ulysse Gayon, aluno de Louis Pasteur, mostrou que a fermentação anaeróbia de uma mistura de fezes e água obtendo 100 litros de gás por metros cúbicos de matéria orgânica (NOGUEIRA, 1992). Em 1884, Louis Pasteur, ao apresentar à Academia das Ciências os trabalhos do seu aluno, considerou que esta fermentação podia constituir uma fonte de aquecimento e iluminação. Contudo, em escala mundial, o uso de biodigestores restringiu-se a Índia e China, até a primeira crise do petróleo em 1970 (GASPAR e LERÍPIO, 2003), onde a biodigestão passou a ser uma alternativa interessante para a produção de energia, principalmente no campo.

O processo de biodigestão anaeróbia é apresentado como um método eficaz para destinação ambientalmente correta de animais mortos. Este processo tem como característica principal a produção de biogás, substituto de diversos combustíveis, e produção de biofertilizante, produto rico em nutrientes e livre de patógenos (EDWARDS; OTHMAN; BURN, 2014). O biodigestor consiste em uma câmara fechada onde o volume de matéria orgânica de dejetos e animais mortos, comumente denominado biomassa, são fermentados anaerobicamente, isto é, sem a presença do ar atmosférico (GASPAR e LERÍPIO, 2003). A Figura 1 demonstra um biodigestor canadense para destinação de animais mortos em escala real.



Figura 1 – Digestor de animais mortos e dejetos suínos

Além da produção de coprodutos de importância econômica, a digestão anaeróbia caracteriza-se pela baixa produção de sólidos, cerca de duas a oito vezes inferior à dos processos aeróbios, como a compostagem. Ademais, os biodigestores toleram elevadas taxas de cargas orgânicas e são de fácil operacionalização, proporcionando sua aplicabilidade em pequena e grande escala (SANCHEZ et al., 2005).

O processo operante no biodigestor é baseado na degradação da matéria orgânica por diferentes grupos de bactérias e é constituído por duas fases distintas: na primeira, é realizada a liquefação ou gaseificação, ou seja, a transformação das moléculas orgânicas em ácidos graxos, sais ou mesmo em gás; na segunda fase acontece a transformação destes produtos em gás metano, gás carbônico e outros gases em menores quantidades (OLIVEIRA, 2005). O

equilíbrio dessas duas fases deve ocorrer simultaneamente. No entanto, se a liquefação ocorre mais rapidamente que a gaseificação, a acumulação de ácidos pode inibir as bactérias metanogênicas e a fermentação é bloqueada (CANTRELL; DUCEY; HUNT, 2008).

A Figura 2 demonstra os processos anaeróbios que podem ser classificados nas quatro etapas seguintes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, assim como as bactérias envolvidas em cada fase do processo. A primeira etapa do processo, denominada fase hidrolítica, consiste na conversão de moléculas complexas em compostos solúveis que possam ser absorvidos e metabolizadas pelas paredes celulares das bactérias fermentativas (OLIVEIRA, 2004). Nessa fase ocorre a transformação de proteínas em aminoácidos, de carboidratos em açúcares solúveis e de lipídeos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina (SOUZA et al., 2008);

Os produtos resultantes da hidrólise são transformados pelas bactérias fermentativas em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, isobutírico, fórmico, hidrogênio (H<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (OLIVEIRA, 2004), na etapa da acidogênese. Um grupo diversificado de bactérias é responsável pela fermentação acidogênica, porém a maioria delas é anaeróbia obrigatória, sendo apenas cerca de 1% facultativas. Assim, a acidogênese facultativa pode remover o oxigênio dissolvido eventualmente presente, evitando que este se torne uma substância tóxica para o meio, principalmente para as bactérias metanogênicas (NOGUEIRA, 1992; VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Já na fase da acetogênese, as bactérias acetogênicas, denominadas como produtoras de hidrogênio, convertem os produtos gerados da acidogênese em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>), acetato e ácidos orgânicos de cadeia curta (SOUZA et al., 2008). Além de possibilitar a transformação de produtos da acidogênese em ácido acético (precursor da formação do metano), as bactérias acetogênicas previnem a acumulação de ácidos graxos voláteis, que são transformados em ácidos acéticos. Os ácidos, em concentrações elevadas, inibem a etapa final da digestão anaeróbia, ou seja, os ácidos formados têm que ser consumidos (BELLI FILHO et al., 2001).

Na última fase do processo, a metanogênese, as bactérias metanogênicas, ou anaeróbias estritas, convertem os ácidos orgânicos de cadeia curta em biogás composto por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogênio (H<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) (OLIVEIRA, 2004). Conforme Belli Filho et al. (2001), as duas principais vias para a formação do metano são a descarboxilação do ácido acético (bactérias metanogênicas acetotróficas) ou redução do dióxido de carbono (bactérias metanogênicas hidrogenotróficas). Segundo Nogueira (1992), 70% do metano formado provém do acetato e o restante do dióxido de carbono e hidrogênio.

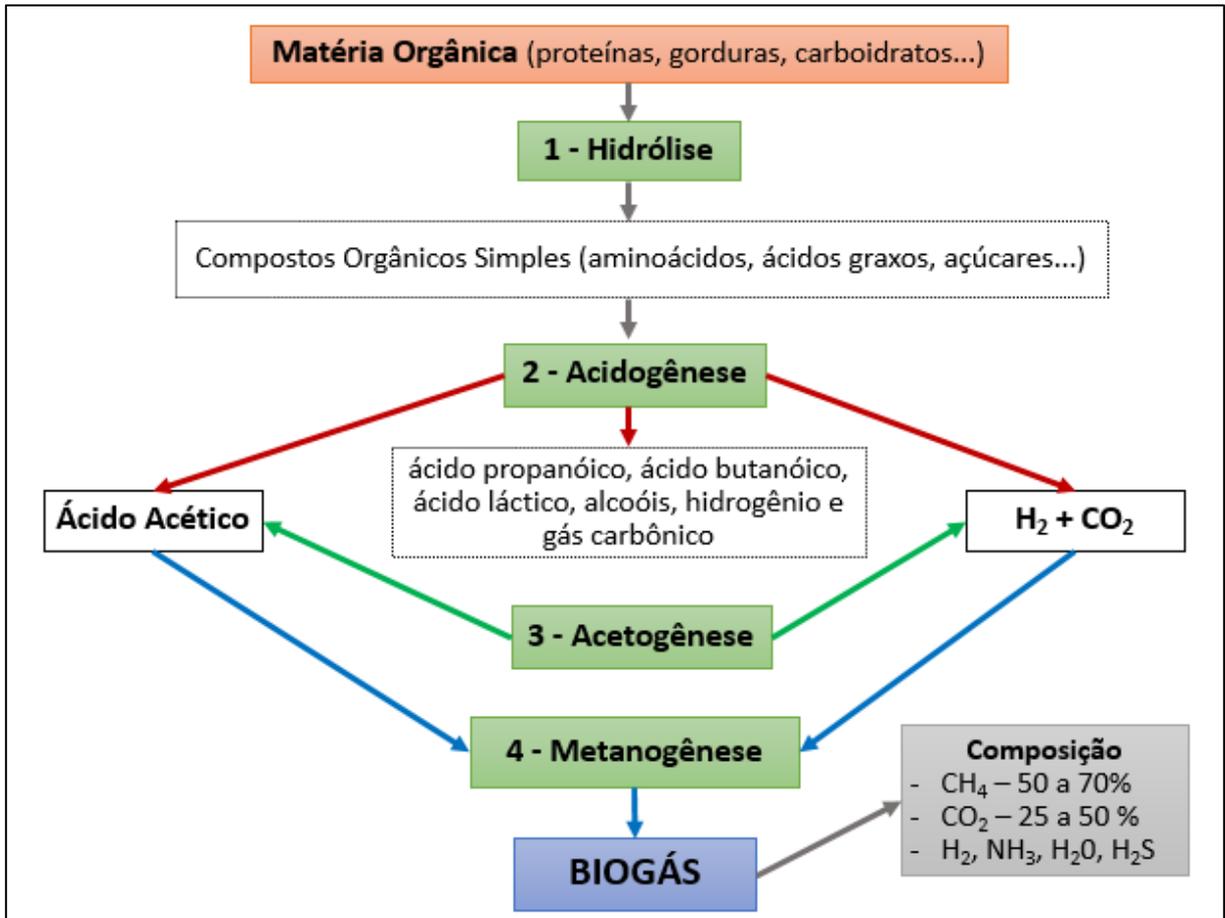


Figura 2 - Sequência da digestão anaeróbica da matéria orgânica

Fonte: Adaptado de PORTAL DO BIOGÁS (2017).

São inúmeras as aplicações da biotecnologia anaeróbica na recuperação de resíduos orgânicos. A Figura 3 ilustra o potencial dessa tecnologia na transformação de resíduos em produtos de valor agregado e biocombustíveis. Compostos orgânicos provenientes de resíduos industriais e rurais como carbono, nitrogênio, hidrogênio e enxofre, são convertidos em recursos valiosos, incluindo os biocombustíveis (hidrogênio, butanol e metano), biofertilizante e compostos químicos úteis (enxofre, ácidos orgânicos, etc.).

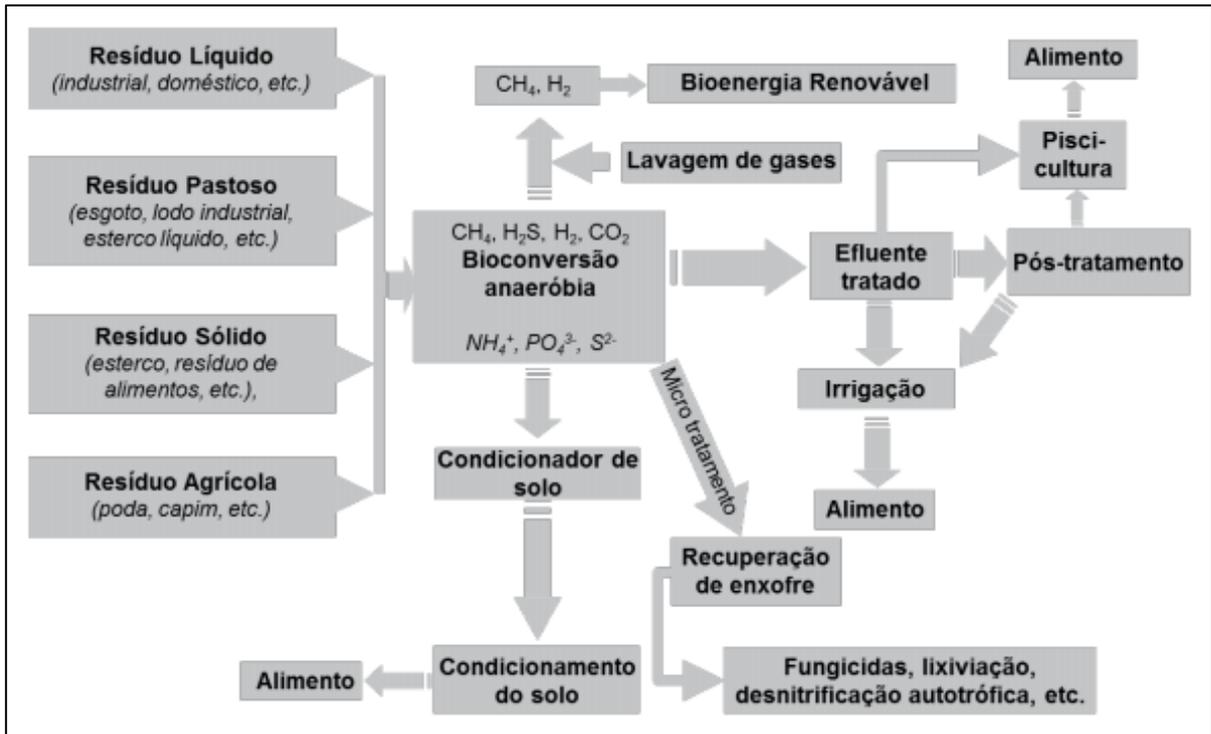


Figura 3 – Potencial de reaproveitamento de resíduos através da bioconversão anaeróbia

Fonte: MIRANDA (2005).

### 1.3.2 Fatores que influenciam a biodigestão anaeróbia

A eficiência da biodigestão anaeróbia está diretamente associada a este equilíbrio e uma série de fatores que favorecem ou inibem o seu desenvolvimento, crescimento dos microrganismos, a degradação do substrato e a produção de biogás. Estas variações são dependentes das características da carga diária de sólidos voláteis, pH, temperatura e teor de nutrientes (OLIVEIRA, 2005; STEIL, 2001). A entrada de antibióticos, inseticidas e desinfetantes no biodigestor também pode inibir a atividade biológica diminuindo sensivelmente a capacidade do sistema em produzir biogás (OLIVEIRA, 1983).

As bactérias produtoras do biogás, em especial as que produzem metano, são muito sensíveis a alterações de temperatura e faz-se necessário o controle de temperatura, evitando variações bruscas. A digestão anaeróbia de animais mortos pode ocorrer em três diferentes fases, baseadas na temperatura do processo: psicofílica (15-20°C), mesofílica (20-45°C) e termofílica (45-60°C), por diferentes tempos de retenção hidráulica (CANTRELL; DUCEY; HUNT, 2008). As diferentes associações de tempo e temperatura afetam as condições físico-químicas do sistema, bem como a sobrevivência de agentes patogênicos. Devido à sua estabilidade e menor utilização de energia, a digestão mesofílica é usada mais frequentemente

do que a digestão termofílica. Embora uma redução da concentração de agentes patogênicos é alcançada em ambos os sistemas, o efeito de inativação de agentes patogênicos é menor na digestão mesofílica (FEC SERVICES, 2003).

A acidez ou basicidade do meio é indicada pelo pH. A alcalinidade é uma medida da quantidade de carbonato na solução (proveniente do CO<sub>2</sub> produzido durante a digestão anaeróbia). A alcalinidade é importante, pois, conforme as bactérias produzem ácidos, o que implica em uma diminuição do pH, o carbonato reage com esses ácidos, o que leva a um controle da acidez do meio (efeito tampão do carbonato) (STEIL, 2001). As bactérias que produzem o metano sobrevivem numa faixa estreita de pH (6,5 a 8,0). Assim, enquanto as bactérias produtoras de ácido (estágio 1 e 2 da digestão anaeróbia) produzem ácidos, as bactérias produtoras de metano consomem esses ácidos, mantendo o meio neutro. Entretanto, as reações envolvidas nos estágios 1 e 2 são muito mais rápidas que a produção do metano, por isso, ao se iniciar a produção do biogás, é necessário que já exista uma população de bactérias metanogênicas presentes para que o processo seja bem-sucedido (BELLI FILHO et al., 2001).

Outros fatores de imprescindível controle são a impermeabilidade ao ar, a relação carbono:nitrogênio e carga orgânica volátil. As bactérias metanogênicas são essencialmente anaeróbias, portanto, o biodigestor deve ser perfeitamente vedado. A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio acarretará em uma produção maior de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (CANTRELL; DUCEY; HUNT, 2008). Por outro lado, os principais nutrientes dos microrganismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1, para uma produção ótima de biogás (OLIVEIRA, 2005).

### **1.3.3 Digestão de animais mortos de origem suína**

Os biodigestores foram difundidos no Brasil devido à primeira crise do petróleo em meados de 1970, com ênfase no aproveitamento de biogás. Houve ampla divulgação e incentivos, principalmente na região Nordeste, onde os principais modelos implantados eram o Chinês e o Indiano. Contudo, os resultados não foram satisfatórios devido a combinações de fatores técnicos, humanos e econômicos, fazendo com que a tecnologia estagnasse no tempo.

Contudo, a restrição de espaço e a necessidade de atender cada vez mais as demandas de água de boa qualidade, alimento e energia nas propriedades fazem com o que os biodigestores ressurgam como alternativa ao suinocultor (CÔTÉ; MASSÉ; QUESSY, 2005).

Graças a disponibilidade de novos materiais como geomembranas de alta versatilidade e baixo custo e, evidentemente, da maior dependência de energia das propriedades, os biodigestores são difundidos como a alternativa economicamente e ambientalmente mais viável para manejo de dejetos e produção de energia. A possibilidade de utilização do biogás para geração de energia térmica e elétrica e do rico fertilizante estabilizado agregam valores aos resíduos pecuários. Conseqüentemente, os custos com o tratamento de efluentes são reduzidos, bem como a pegada ecológica da produção de animais e os odores indesejados (OLIVEIRA et al., 2005).

Dentre os modelos atuais de biodigestores para matéria úmida mais utilizados destacam-se o modelo canadense e o modelo mistura completa (SOUZA et al., 2014b). O modelo canadense é executado sob o solo e funciona através do fluxo contínuo de efluente (Figura 4). Para a impermeabilização são utilizadas geomembranas em polietileno de alta densidade (PEAD) com um sistema de vedação através da termofusão, sendo que há um reservatório para a biomassa e uma cúpula que infla conforme a quantidade de biogás produzido. O sistema inclui também uma caixa de entrada a fim de reter sólidos grosseiros e partículas inorgânicas, e uma caixa de saída para direcionamento do efluente as lagoas subsequentes. Este sistema fornece a possibilidade de monitoramento da qualidade do tratamento. A saída de gás que pode ser dupla ou tripla, sendo que uma é utilizada para destinação do gás e outra para válvula de segurança. Ainda, o sistema de agitação pode ser realizado mecanicamente ou hidraulicamente. Além de ser de baixo custo, este modelo de biodigestor possui relação de comprimento: largura de 3:1, possibilitando uma grande área de exposição solar, o que beneficia a formação de biogás.

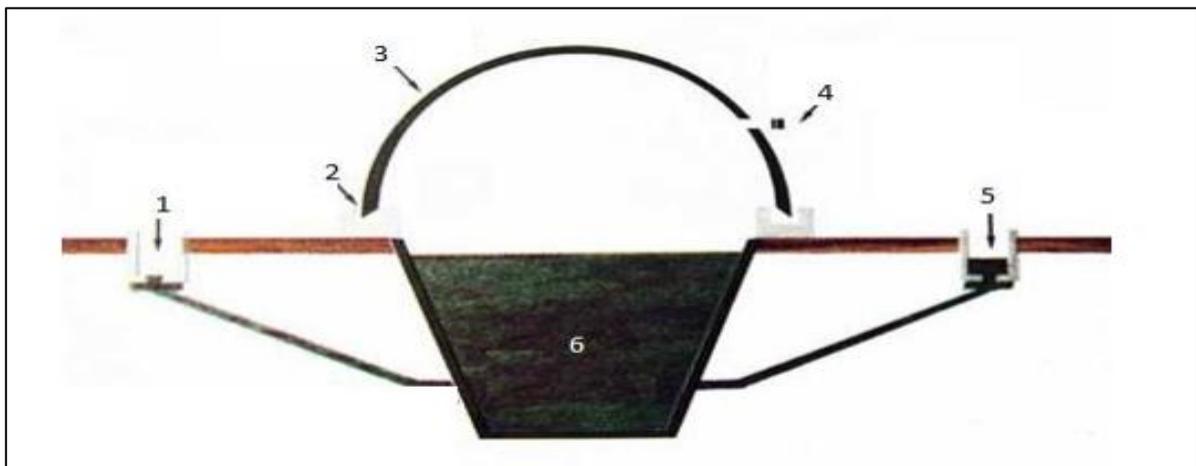


Figura 4 – Biodigestor modelo canadense (1 – caixa de entrada; 2 – geomembrana PEAD; 3 – cúpula para armazenamento de biogás; 4 – saída do biogás; 5 – caixa de saída; 6 – biomassa)  
Fonte: SOUZA et al. (2014b).

No processo de biodigestão anaeróbia de mistura completa, o fluxo é realizado em batelada e toda biomassa é homogeneizada em sua totalidade em um cilindro metálico de inox construído sobre o solo em posição vertical (SOUZA et al., 2014b). Este modelo é bastante difundido na Europa e Estados Unidos, sendo que na Alemanha, em 2009, ele representava cerca de 90% do total das plantas de biogás (SOUZA et al., 2014b). Na Figura 5 pode-se observar os aspectos construtivos deste modelo que englobam misturador mecânico e componentes de aquecimento e injeção de ar. Apesar da alta eficiência e produção de biogás, os componentes deste modelo encarecem a tecnologia tornando-a inacessível para a maioria dos produtos brasileiros.

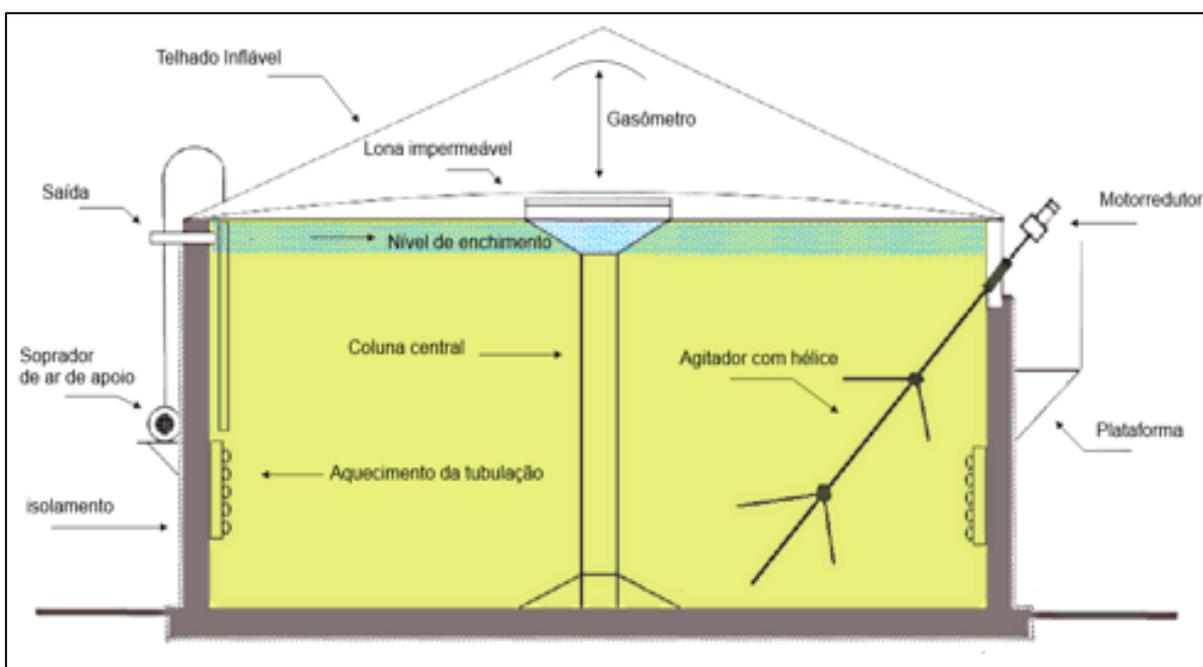


Figura 5 – Biodigestor modelo mistura completa

Fonte: SOUZA et al. (2014b).

A literatura para digestão anaeróbia de animais mortos ainda é limitada, todavia alguns estudos vêm demonstrando o potencial da digestão anaeróbia. O estudo desenvolvido por Massé et al. (2008) investigou a digestão anaeróbia psicrófila em reatores em batelada sequencial de animais mortos de origem suína triturados e misturados ao dejetos e obteve até 82,8% de redução de demanda química de oxigênio (DQO) e produção de metano de 0,3 g/l de DQO removida. Dai et al. (2015) obtiveram 68% de redução de sólidos totais em um co-digestor anaeróbio de escala laboratorial para animais mortos suínos e resíduos de vinhaça. Xia et al. (2015) investigaram a co-digestão anaeróbia de dejetos e cascos suínos, em 25°C, por 90 dias, onde os resultados apresentaram conversão de 73% dos cascos em CH<sub>4</sub>. Apesar de promissoras, as atuais investigações avaliaram processos em escala laboratorial e com pré-

tramentos das animais mortos requisitados, o que os torna inviáveis economicamente em escalas maiores e em pequenas propriedades.

Os resultados apresentados nos experimentos de Côté, Massé e Quessy (2005), consideram a digestão anaeróbia como um método promissor para redução de indicadores e populações de microrganismos patogênicos de dejetos suínos. Em uma câmara de digestão a 20 °C com fluxo intermitente de 20 dias observou-se 97,94% de eficiência de remoção de coliformes totais e 99,67% de populações de *Escherichia coli*. Ainda, as cepas de *Salmonella* spp, *Cryptosporidium* spp e *Giardia* spp obtiveram níveis indetectáveis nas análises. Porém, a temperatura não é o único componente envolvido na eliminação de patógenos durante a digestão, visto que a combinação de outros fatores, como pH e a concentração de amônia livre também contribuem para esta redução (PESARO et al., 1995).

Ao destinar os animais mortos adequadamente na propriedade, a disseminação de patógenos gerada pelo transporte é evitada, contribuindo com a segurança do processo produtivo. Assim sendo, a destinação adequada de suínos mortos é essencial para garantia da sustentabilidade e biossegurança nas propriedades rurais (MASSÉ et al., 2008).

### **1.3.4 Tratamento final em lagoas anaeróbias**

Os biodigestores fazem parte de um processo de tratamento dos dejetos, não devendo ser vistos como uma solução definitiva, pois ele possui limitações quanto a eficiência da remoção da matéria orgânica e de nutrientes (OLIVEIRA, 2004). Sendo assim, a qualidade de efluentes de reatores anaeróbios pode ser melhorada com a utilização de lagoas secundárias dimensionadas conforme seu posicionamento e carga orgânica ao longo do tratamento (VON SPERLING, 1996a).

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial. Tal objetivo, é alcançado através do lançamento de uma grande carga de demanda biológica de oxigênio (DBO) por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja várias vezes superior à taxa de produção, sendo esta desprezível (VON SPERLING, 1996c). Elas são recomendadas em sistemas de tratamento de efluentes predominantemente orgânico e com altos teores de DBO, como na suinocultura.

Já na lagoa facultativa, a DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo convertida anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa (VON

SPERLING, 1996c). O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese.

Diferentemente de lagoas de estabilização, cujo principal objetivo é a estabilização da matéria orgânica, o de lagoas de polimento é a remoção de organismos patogênicos (VON SPERLING, 1996c). Elas caracterizam-se por ter profundidades menores que 1,5 metros, propiciando a incidência de radiação UV, o que elimina os patógenos; enquanto a lagoa anaeróbia aumenta a eficiência da redução de matéria orgânica e nutrientes. Segundo Von Sperling (1996b), as lagoas de polimento devem estar no final do processo de tratamento, ou seja: digestor anaeróbio > lagoa anaeróbia > lagoa facultativa > lagoa de polimento.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo geral

Avaliar a eficiência da remoção da carga orgânica e de possíveis patógenos utilizando o processo de co-digestão anaeróbia de animais mortos e dejetos suínos.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o comportamento de macro nutrientes e micronutrientes através das análises físico-químicas;
- b) Analisar a redução e/ou eliminação de microrganismos patogênicos através das análises microbiológicas e parasitológicas;
- c) Comparar a eficiência do processo e variações no sistema ao longo do período de análise;
- d) Verificar a adequação dos parâmetros em relação à legislação vigente;

## **2. CAPÍTULO II**

### **MANUSCRITO**

Os resultados desta dissertação estão apresentados na forma de manuscrito na formatação de acordo com a revista Waste Management.

## 2.1 MANUSCRITO

### **AVALIAÇÃO DE UM NOVO SISTEMA DE CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA PARA DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS E DEJETOS SUÍNOS**

Autores: Káren Bes, Maiara Cristiane Brisola, Regiane Boaretto Crescencio, Dinael Simão  
Bitner, , Lenita Moura Stefani, Gláucia Amorim Faria

## AVALIAÇÃO DE UM NOVO SISTEMA DE CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA PARA DESTINAÇÃO DE ANIMAIS MORTOS E DEJETOS SUÍNOS

Káren Bes<sup>1\*</sup>, Maiara Cristiane Brisola<sup>1</sup>, Regiane Boaretto Crescencio<sup>1</sup>, Dinael Simão Bitner<sup>2</sup>,  
Lenita Moura Stefani<sup>1,2</sup>, Gláucia Amorim Faria<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC-Oeste, Programa de Pós Graduação em Zootecnia, Chapecó, SC, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC-Oeste, Curso de Zootecnia, Chapecó, SC, Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista em Ilha Solteira Ilha Solteira, SP, Brasil.

\*Corresponding author: karenbes55@gmail.com

### RESUMO

O crescimento exponencial da população humana e sua conseqüente demanda por proteínas de origem causa progressivos impactos ambientais como, por exemplo, o destino inadequado de animais mortos e dejetos. O digestor de animais mortos de origem suína apresenta-se como um método proposto para o descarte deste tipo de material. Diante disto, este estudo teve por objetivo avaliar a eficiência de remoção de carga orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos no processo de co-digestão anaeróbia de animais mortos inteiros e dejetos, ambos de origem suína, em um tempo de retenção hidráulica de 80 dias. As análises foram executadas em blocos no período de avaliação trimestral de abril a junho de 2017, em seis pontos do tratamento. Os resultados demonstraram eficiência na remoção de matéria orgânica acima do que a proposta pela legislação: DQO (87,88%) e DBO (83,57%). Os valores de macro e micronutrientes foram condizentes com os parâmetros ambientais propostos pela legislação CONAMA 375/2006. Em relação ao nitrogênio total (2.222,00 mg l<sup>-1</sup>) e limite crítico ambiental de fósforo (333,30 mg dm<sup>-3</sup>) sugere-se uma avaliação agrônômica posterior para lançamento do efluente no solo. Em relação aos microrganismos observou-se a inexistência de *Salmonella* spp e ovos de helmintos. Portanto, o tratamento de animais mortos e efluentes através do processo de digestão anaeróbia apresentou-se como um método eficiente em substituição a compostagem e outros métodos de disposição final de animais mortos.

**Palavras chave:** co-digestão anaeróbia, digestor de animais mortos, resíduos agroindustriais, suinocultura.

### 33 INTRODUÇÃO

34

35 O Brasil é um grande produtor de alimentos de origem animal, exportando para  
36 diversos países do mundo produtos de alta qualidade como leite, carne e seus derivados. O  
37 cenário atual aponta para o contínuo crescimento do consumo de carnes suínas e o país  
38 responde pela quarta maior produção desta proteína, a nível mundial (ABPA, 2017). Portanto,  
39 surge a necessidade eminente de soluções tecnológicas que visem o aumento da produção, de  
40 forma a suprir a demanda e ainda reduzir os impactos nocivos ao meio ambiente,  
41 principalmente nas áreas de pecuária intensiva (EDWARDS; OTHMAN; BURN, 2014).

42

43 Uma das consequências indesejáveis desta produção é a geração de um grande volume  
44 de dejetos e animais mortos, proporcionando um risco evidente à segurança ambiental e  
45 sanitária, principalmente nas áreas de grande densidade animal onde há uma pressão  
46 acentuada sobre os recursos naturais. Através do tratamento inadequado de dejetos, a taxa de  
47 nutrientes lançados no solo, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, é superior a  
48 velocidade de incorporação das plantas e este excesso tende a lixiviar até os corpos hídricos  
49 provocando processos de eutrofização (GWYOTHER ET AL., 2011).

49

50 O constante manuseio, transporte, acondicionamento e tratamento inadequado destes  
51 resíduos, principalmente dos animais mortos impróprios para consumo, geram um grande  
52 transtorno à cadeia produtiva. O produtor rural tem grandes dificuldades em destinar  
53 adequadamente estes resíduos e são poucas as alternativas disponíveis. Desta forma, o desafio  
54 encontra-se na busca por um tratamento eficiente para destinação de animais mortos de  
55 origem suína, que se adeque a realidade brasileira.

55

56 A biodigestão anaeróbia evidencia-se como uma solução apta a adequar-se como um  
57 dos métodos mais eficazes para a disposição final de animais mortos. Os benefícios gerados  
58 nas esferas econômica, ambiental e social são indiscutíveis: o processo é de fácil controle e  
59 manuseio, além de ser vedado hermeticamente, o que promove a biossegurança dos  
60 trabalhadores e ambiente. Além disso, há geração de co-produtos com valor econômico  
61 agregado, como o biofertilizante e energia renovável (biogás), garantindo sua consolidação no  
62 mercado e promovendo a sustentabilidade em pequenas propriedades rurais (OLIVEIRA,  
63 2005).

63

64 Diante do exposto, este estudo teve por objetivo avaliar a eficiência da remoção de  
65 carga orgânica e microrganismos patogênicos de um co-digestor anaeróbio em escala  
66 comercial.

66

## 67 MATERIAIS E MÉTODOS

68

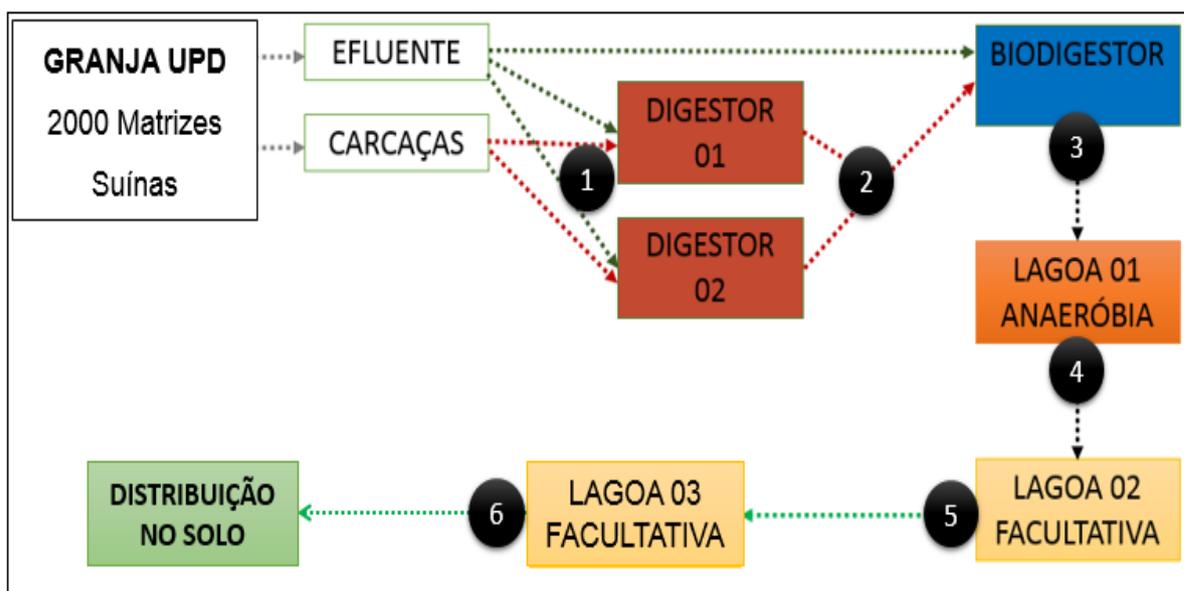
### 69 Amostragem

70

71 As amostras para este estudo foram obtidas em uma granja particular de suínos  
 72 particular, com 2000 matrizes suínas produzindo leitões até aproximadamente 28 kg,  
 73 localizada em Gaurama –RS, (-27,562119, -52,098526). Os 02 digestores teste de animais  
 74 mortos de origem suína possuem as dimensões de (21x7x3)metros no formato canadense,  
 75 revestidas com geomembrana em polietileno de alta densidade (PEAD) e sistema de agitação  
 76 automatizado de seis válvulas. O biodigestor era equipado com o mesmo sistema de agitação  
 77 dos digestores e dimensões (46x13x3,5)metros. As lagoas possuíam as seguintes dimensões:  
 78 Lagoa 1 (22,5x14,5x3,5) metros, Lagoa 2 (34,5x16,5x 2,5) metros e Lagoa 3 (35x23,5x2)  
 79 metros.

80 As coletas de amostras foram definidas conforme o Guia Nacional de Coleta de  
 81 Efluentes (ANA e CETESB, 2012). As análises foram realizadas em triplicata, em seis pontos  
 82 de tratamento, e coletadas e transportadas em frascos plásticos e de vidro, com isolamento  
 83 térmico. O período de avaliação do experimento foi trimestral entre abril a junho de 2017.

84



85

86 Figura 1 – Fluxograma do sistema de tratamento da granja UPD

87

88

89

90

91

92 **Parâmetros de entrada**

93

94 A quantificação dos efluentes e resíduos gerados na granja que adentraram o sistema  
 95 de tratamento foram controlados diariamente e representaram 2.271,61 m<sup>3</sup> de efluente, sendo  
 96 destes 88,07% de dejetos suínos e 11,93% de animais mortos, representando uma taxa  
 97 equivalente à 0,13 kg m<sup>-3</sup>. Os animais mortos foram inseridos nos digestores de carcaças sem  
 98 qualquer pré-tratamento ou esquarteramento. Após a morte do animal, o mesmo era inserido  
 99 em menos de 3h no sistema de tratamento. A fim de não descaracterizar o processo de  
 100 inserção dos animais mortos inteiros no digestor, os parâmetros referentes ao cumulativo  
 101 destes animais foram calculados através da média ponderada em função da porcentagem de  
 102 dejetos e carcaças, utilizando parâmetros da literatura conforme descritos na Tabela 1:

103

104 Tabela 1 – Parâmetros médios relativos para carcaças de animais mortos de origem suína

Parâmetro	Valores Estimados	
	para Carcaças Suínas	Fonte
Cálcio (kg m <sup>-3</sup> )	0,13	Taco (2011)
Carbono Orgânico Total (mg l <sup>-1</sup> )	662.000	Cartilha TEC-DAM II (2017)
Cobre (g m <sup>-3</sup> )	3,40	Hautrive (2011)
Ferro (g m <sup>-3</sup> )	8,20	Patterson et al. (2009)
Fósforo (kg m <sup>-3</sup> )	2,08	Patterson et al. (2009)
Magnésio (kg m <sup>-3</sup> )	0,23	Taco (2011)
Manganês (g m <sup>-3</sup> )	1,00	Hautrive (2011)
Nitrogênio Total (mg l <sup>-1</sup> )	27960	Massé et al. (2008)
Óleos e Graxas Totais (mg l <sup>-1</sup> )	176.700	Massé et al. (2008)
pH	6,10	Massé et al. (2008)
Potássio (kg m <sup>-3</sup> )	3,35	Patterson et al. (2009)
Sólidos Totais (mg l <sup>-1</sup> )	407.000	Massé et al. (2008)
Sólidos Totais Voláteis (mg l <sup>-1</sup> )	380.000	Massé et al. (2008)
Zinco (g m <sup>-3</sup> )	19,50	Patterson et al. (2009)

105

106 **Análises físico-químicas e microbiológicas**

107

108 Os efluentes do sistema de tratamento foram caracterizados quanto aos parâmetros  
 109 físico-químicos e microbiológicos, descritos no Quadro 1. As análises foram executadas de

110 acordo com a metodologia apresentada no Standard Methods for the Examination of Water  
111 and Wastewater - SMEWW (APHA, 2005).

112 Quadro 1 – Análises físico-químicas e microbiológicas para caracterização dos resíduos  
113 suínos

Localização do Ensaio	Descrição do Ensaio	Metodologia
Pontos: 1, 2, 3, 4, 5, 6	Demanda Biológica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	SMEWW 5210 D
Pontos: 1, 2, 3, 4, 5, 6	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	Refluxo Fechado Hach. PO 003
Pontos: 1 e 2	Análise Básica de Resíduos Orgânicos (C Total, N Total, P, K, Ca e Mg)	Espectrofotometria UV/VIS
Pontos: 1 e 2	Análise química de micronutrientes de Resíduos orgânicos (Cu, Zn, Fe, Mn)	Espectrofotometria UV/VIS
Pontos: 1, 2, 3, 4, 5, 6	pH	SMEWW 4500-H+ B
Pontos: 1 e 2	Sólitos Totais (ST)	SMEWW 2540 B
Pontos: 1 e 2	Sólidos Voláteis (SV)	SMEWW – Método 2540 E
Pontos: 1 e 2	Óleos e graxos	SMEWW 5520 D
Pontos: 1 e 2	Coliformes termotolerantes	Placa 3M™ Petrifilm™
Pontos: 1, 2 e 3	<i>Escherichia coli</i>	Placa 3M™ Petrifilm™
Pontos: 1, 2 e 3	Ovos viáveis de helmintos	Microscopia
Pontos: 1, 2, 3, 4, 5, 6	Pesquisa de <i>Salmonella</i> spp	SMEWW 9260 D

114

#### 115 **Análise estatística**

116

117 Partindo do pressuposto da normalidade para todas as variáveis estudadas realizamos o teste  
118 de experimentos em blocos ao acaso (RBD - Randon Blocks Design) na ANOVA regular. As  
119 médias dos resultados obtidos, em cada ponto do sistema de tratamento, foram comparadas  
120 entre si pelo teste F de Fisher Snedecor, num intervalo de confiança de 95% de probabilidade.  
121 Para as variáveis com mais de dois tratamentos e que apresentaram significância estatística  
122 ( $P < 0,05$ ), foi realizado o teste para comparação de médias Scott Knott (BORGES e  
123 FERREIRA, 2003). As Análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico

124 R versão 3.4.2.

125

## 126 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

127

### 128 **Carga orgânica na entrada do sistema de tratamento**

129

130 Na Tabela 2 são expostos os parâmetros de entrada do sistema de tratamentos que  
 131 foram quantificados em uma média de 2.271,61 m<sup>3</sup>, na razão de 0,13 kg m<sup>-3</sup>. Destaca-se que  
 132 os animais mortos foram inseridos inteiros no digestor, sem trituração ou esquarteramento,  
 133 proporcionando facilidade no manejo operacional e segurança do trabalhador no manuseio  
 134 deste tipo de material.

135 Tabela 2 – Efluentes e resíduos totais inseridos no sistema de tratamento

<b>Período</b>	<b>Resíduos Totais (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dejetos (%)</b>	<b>Animais Mortos (%)</b>
Abril	2292,39	87,25	12,75
Maio	2307,10	86,69	13,31
Junho	2215,35	90,28	9,72
Totais Médios	2.271,61	88,07	11,93

136

### 137 **Remoção de carga orgânica**

138

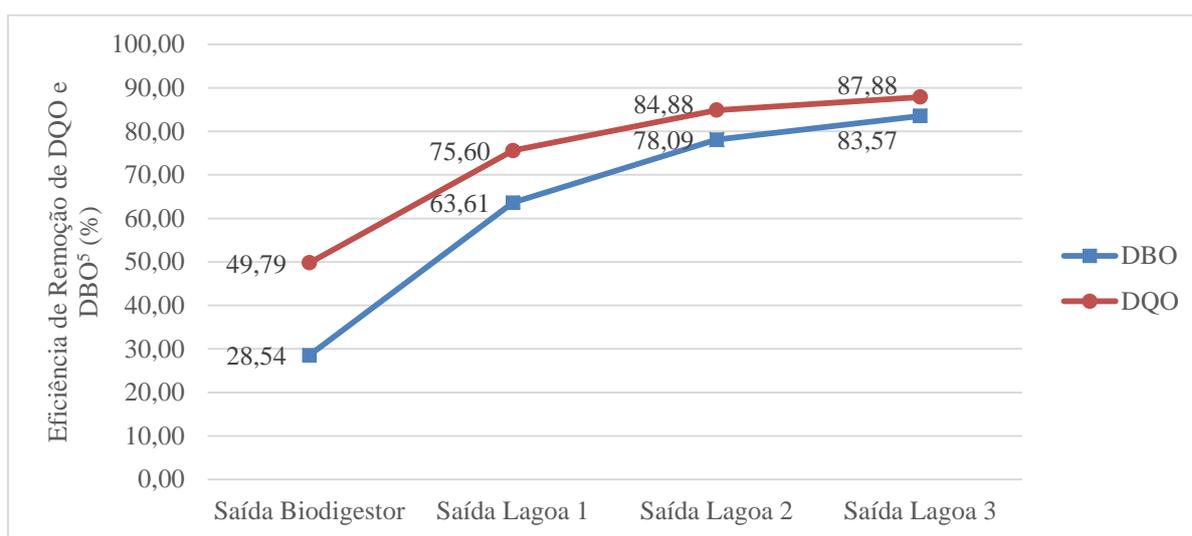
139 Em termos de eficiência de remoção de DQO e DBO<sup>5</sup>, podemos analisar na Figura 2  
 140 que as mesmas obtiveram crescimento contínuo ao longo das unidades operacionais do  
 141 tratamento. A concentração média de DBO<sup>5</sup> no efluente final foi de 694,66 mg l<sup>-1</sup> (Tabela 3),  
 142 sendo que a eficiência de remoção desta variável foi de 83,57% (Figura 2) encontrando-se  
 143 dentro do esperado para condições e padrões de lançamento de efluentes, disposto pela  
 144 Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é limitada  
 145 em no mínimo de 60%. De acordo com Von Sperling (1996), a DBO<sup>5</sup> é a medida da  
 146 concentração de oxigênio requerida para oxidar, por meio de processos bioquímicos, a  
 147 matéria orgânica carbonácea presente no efluente, portanto indica indiretamente a quantidade  
 148 de matéria orgânica biodegradável existente no mesmo.

149 Da mesma forma, a DQO também se enquadra nos limites propostos, com eficiência  
 150 de remoção de 87,88% (Figura 2). A literatura para digestão anaeróbia de animais mortos  
 151 ainda é limitada, todavia alguns estudos vêm demonstrando o potencial da digestão anaeróbia:  
 152 o estudo desenvolvido por Massé et al. (2008), que investigaram a digestão anaeróbia

153 psicofílica em reatores em batelada sequencial de animais mortos de origem suína trituradas  
 154 e misturadas ao dejetos, obteve até 82,8% de redução de DQO e produção de metano de 0,3 g l<sup>-1</sup>  
 155 <sup>1</sup> de DQO removida, concordando com os resultados obtidos neste estudo. Apesar da remoção  
 156 de matéria orgânica ser aprimorada através do tratamento de lagoas, neste estudo, não houve  
 157 redução significativa de DQO e DBO<sup>5</sup> entre as mesmas.

158 Os valores de pH (Tabela 3) variaram significativamente entre os tratamentos,  
 159 permanecendo relativamente básicos na amostragem realizada, sendo que se adequou a  
 160 CONAMA 430/2011 que define a faixa de pH entre 5 e 9 para lançamentos de efluentes.

161



162

163 Figura 2 – Eficiência de remoção de DQO e DBO<sup>5</sup> ao longo do tratamento de efluente de  
 164 carcaças e dejetos suínos

165

166 Tabela 3 – Remoção de DQO e DBO<sup>5</sup> ao longo do tratamento de efluente de animais mortos  
 167 e dejetos suínos

Tratamentos	pH	DQO	DBO <sup>5</sup>
	-	(mg l <sup>-1</sup> )	(mg l <sup>-1</sup> )
Entrada Digestor	7,45d	-	-
Saída Digestor	7,59c	15866,66a	4227,66a
Saída Biodigestor	7,40d	7966,66b	3021,00a
Saída Lagoa 1	7,42d	3871,66c	1538,33b
Saída Lagoa 2	7,76b	2398,33c	926,33b
Saída Lagoa 3	7,90a	1923,33c	694,66b

168 DQO: demanda química de oxigênio; DBO<sup>5</sup>: demanda biológica de oxigênio. Médias  
 169 diferentes entre colunas diferem entre si pelo teste F a 5%.

170

171 Em relação aos sólidos totais, obtivemos remoção de 72,75% no digestor de animais  
172 mortos (Tabela 4), resultados superiores a Dai et al. (2015) que obtiveram 68% de redução de  
173 sólidos totais em um co-digestor anaeróbio de escala laboratorial para animais mortos de  
174 origem suína e resíduos de vinhaça. As atuais investigações presentes na literatura, avaliam  
175 processos em escala laboratorial e com pré-tratamentos dos animais mortos requisitados, o que  
176 os torna inviáveis economicamente em escalas maiores e em pequenas propriedades. Contudo,  
177 no nosso estudo obtivemos resultados similares ou acima dos apresentados em escala  
178 laboratorial, reduzindo significativamente os sólidos totais durante a digestão anaeróbia por  
179 80 dias consecutivos.

180 Neste estudo, a produção de biogás não foi investigada, contudo a remoção de sólidos  
181 totais voláteis, foi de 81,68% (Tabela 4). Paralelamente, Xia et al. (2015) obtiveram o  
182 potencial de conversão de 73% dos cascos e dejetos suínos em gás metano ( $\text{CH}_4$ ), através da  
183 co-digestão anaeróbia em  $25\text{C}^\circ$ , por 90 dias. Adicionado a isto, a relação específica de  
184 carbono para nitrogênio, que deve ser mantida entre 20:1 e 30:1, para uma produção ótima de  
185 biogás (OLIVEIRA, 2005). Inicialmente o valor obtido foi de 16,89 (Tabela 4), ou seja,  
186 próxima aos parâmetros recomendados pelo autor.

187 A concentração de nitrogênio total presente no efluente da saída do digestor  
188 encontrou-se na ordem de  $2222,00 \text{ mg l}^{-1}$  (Tabela 4), valor bastante elevado se comparado ao  
189 limite estabelecido pelo CONAMA 430/2011, que é de  $20 \text{ mg l}^{-1}$  para lançamento do efluente  
190 em corpos hídricos, representando um potencial contribuinte para eutrofização das águas  
191 receptoras de tal efluente. Contudo, esta resolução é omissa quanto a limites críticos  
192 ambientais de aplicação de nitrogênio em solos agrícolas, que é a disposição proposta. O  
193 biofertilizante na saída do processo, por ser um adubo orgânico tem como característica a  
194 liberação lenta de nitrogênio o que possibilita o seu aproveitamento amplo até o final do ciclo  
195 de certas culturas e, portanto, pode ser amplamente utilizado na agricultura sem extrapolar os  
196 limites críticos ambientais de concentração de nutrientes e demais limitações (CQFS – RS/SC,  
197 2016).

198  
199  
200  
201  
202  
203  
204

205 Tabela 4 – Diferenças em parâmetros de carga orgânica na entrada e saída do digestor de  
 206 animais mortos

<b>Tratamento</b>	<b>CO</b> (mg l <sup>-1</sup> )	<b>NT</b> (mg l <sup>-1</sup> )	<b>C:N</b> -	<b>ST</b> (mg l <sup>-1</sup> )	<b>STV</b> (mg l <sup>-1</sup> )	<b>OG</b> (mg l <sup>-1</sup> )
Entrada	84652,73a	5002,25a	16,89a	54005,34a	48380,56a	21485,81a
Digestor						
Saída Digestor	1351,57b	2222,00b	6,14b	14718,33b	8861,66b	1051,11b
Remoção Total	98,40%	55,58%	63,65%	72,75%	81,68%	95,11%

207 CO: carbono orgânico; NT: nitrogênio total; C:N: relação carbono:nitrogênio; ST: sólidos  
 208 totais (ST); STV: sólidos totais voláteis; OG: óleos e graxas. Médias diferentes entre colunas  
 209 diferem entre si pelo teste F a 5%.

210

### 211 **Influência do tratamento nos nutrientes com interesse agrônômico**

212

213 Segundo a CQFS-RS/SC (2016), a eficiência dos dejetos animais como fertilizante se  
 214 equipara aos fertilizantes minerais, por exemplo, cerca de 80% do nitrogênio, 90% do fósforo  
 215 e 100% do potássio, presentes no dejetos suíno são disponibilizados para o solo. Outra  
 216 vantagem do uso dos dejetos como fertilizantes é que eles contêm outros macros e  
 217 micronutrientes em sua composição, os quais auxiliam no aumento do nível de fertilidade do  
 218 solo (GATIBONI et al., 2014).

219 Além de serem fontes de nutrientes às plantas, os adubos orgânicos podem contribuir  
 220 para o acúmulo de matéria orgânica no solo, favorecendo a atividade biológica e agregação do  
 221 solo, melhorando a sua estrutura, aeração e também a infiltração, drenagem e armazenamento  
 222 de água. No entanto, estes benefícios dependem da quantidade e continuidade do uso da  
 223 adubação orgânica visto que estes efeitos são significativos no longo prazo e desde que o uso  
 224 de adubos orgânicos esteja associado a práticas conservacionistas de manejo do solo (CQFS,  
 225 2016).

226 A resolução CONAMA 430/2011 ressalta que o órgão ambiental competente de cada  
 227 estado deve definir os parâmetros de lançamento para fósforo no corpo hídrico receptor. Nos  
 228 solos do oeste de Santa Catarina, elevados teores de P são comuns em áreas de aplicação  
 229 constante de dejetos (SCHERER; NESI; MASSOTTI, 2010). Contudo, não é possível afirmar  
 230 que há riscos ambientais em função de que os Limites Críticos Ambientais de P ainda não  
 231 foram determinados para os solos do Estado de Santa Catarina.

232 Recentemente, Gatiboni et al. (2014) desenvolveram um método baseado no teor de  
 233 argila do solo que possibilita calcular os limites crítico ambiental de P disponível a fim de

234 evitar contaminação aquática. Considerando a classificação do solo em Erechim/RS, região  
 235 próxima à área de estudo, a composição de argila é de aproximadamente 60% (Sachetti;  
 236 Rojas; Heineck, 2014). Portanto, segundo a fórmula proposta por Gatiboni (2014) o  
 237 biofertilizante estudado apresentou LCA – P de 333,30 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 5), ou seja,  
 238 aproximadamente três vezes acima do recomendado pelo autor para presença no solo. O valor  
 239 obtido, refere-se ao P presente no efluente de destinação final e, portanto, o método proposto  
 240 carece de calibração de campo mais intensa incluindo fatores determinantes da transferência  
 241 de P para o solo e ambiente, como a declividade do solo, a mineralização de P pela cobertura  
 242 vegetal, entre outros (CQFS – RS/SC, 2016).

243 Em solos agrícolas, o N e o P são os nutrientes que mais preocupam em termos  
 244 ambientais, seguidos do Cu e Zn, que são acrescentados à ração e que podem se acumular no  
 245 solo, devido a sua baixa extração pelas plantas, enquanto que o excesso dos demais nutrientes  
 246 (K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cl, Mo e B), geralmente é menos provável e/ou tem efeitos menos  
 247 impactantes ao ambiente. (CFS-RS/SC, 2016). Neste estudo estes limites estiveram dentro  
 248 dos dispostos pela Resolução do CONAMA 375/2006, que define critérios e procedimentos  
 249 para o uso agrícola de lodos de esgoto, de 2800 g m<sup>-3</sup> para Zn e 1500 g m<sup>-3</sup> para Cu (Tabela  
 250 5).

251

252 Tabela 5 – Diferenças nos parâmetros de diferentes nutrientes na entrada e saída do digestor  
 253 de animais mortos

<b>Tratamentos</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>
	(kg m <sup>-3</sup> )	(g m <sup>-3</sup> )						
Entrada	0,3266a	1,13b	1,67a	0,3132a	5,56b	10,21a	16,17a	1,07b
Digestor								
Saída	0,3333a	1,47a	1,68a	0,4233a	19,58a	33,77a	77,38a	11,32a
Digestor								

254 Médias diferentes entre colunas diferem entre si pelo teste F a 5%.

255

### 256 **Redução de microrganismos patogênicos**

257

258 A digestão anaeróbia é reconhecida como um método promissor para redução de  
 259 indicadores e populações de microrganismos patogênicos de dejetos suínos (CÔTÉ; MASSÉ;  
 260 QUESSY, 2005). Porém, não obtivemos reduções significativas estatisticamente de  
 261 populações de coliformes totais e *E. coli* nos nossos resultados (Tabela 6), contrastando com o

estudo de Côté, Massé e Quessy (2005), que em uma câmara de digestão a 20°C com fluxo intermitente de 20 dias houve 97,94% de eficiência de remoção de coliformes totais e 99,67% de populações de *E. coli*, em dejetos suínos.

Na Tabela 6 estão demonstrados os resultados para remoção de coliformes totais e *E. coli*. Estes parâmetros tiveram um aumento na saída do digestor, devido ao fato da impossibilidade de avaliar os microrganismos presentes no montante de animais mortos de origem suína adicionados na entrada do digestor, sendo considerados apenas os presentes no dejetos suíno. Ao longo do tratamento, obteve-se um decréscimo na contagem e a redução destes microrganismos não foi significativa. Por conseguinte, faz-se necessário o tratamento continuado deste efluente para melhoria dos níveis de redução destes microrganismos e recomenda-se que os adubos orgânicos não sejam utilizados em plantas de consumo “in natura”, que se tenha contato direto nas partes comestíveis (CFS-RS/SC, 2016).

No entanto, nossos resultados são similares aos exigidos pelo CONAMA 375/2006, que define critérios e limites para microrganismos presentes em lodos agrícolas para fins de adubação, ou seja: para *Salmonella* spp são requisitados ausência em 10 g de sólidos totais e e para ovos viáveis de helmintos quantidades menores que 0,25 ovos por grama de sólidos totais. O efluente de saída se enquadra nestes limites, pois não se obteve presença de *Salmonella* spp e ovos viáveis de helmintos nas amostragens realizadas. Estudos de Pesaro (1995) mostraram que além da temperatura, a combinação de outros fatores também é responsável pela desativação e redução de agentes patogênicos durante a digestão anaeróbia, como o pH e a concentração de amônia livre.

283

284 Tabela 6 – Remoção de coliformes totais e *Escherichia coli* ao longo do tratamento de  
285 efluente de animais mortos e dejetos suínos

Tratamento	Coliformes Totais	<i>E. coli</i>
	(UFC ml <sup>-1</sup> )	(UFC ml <sup>-1</sup> )
Entrada Digestor	472666,66a	43333,33a
Saída Digestor	50033333,33a	7033333,33a
Saída Biodigestor	21333,33a	25666,66a

286 Médias diferentes entre colunas diferem entre si pelo teste F a 5%.

287

288 Ressalta-se também, que as alternativas presentes no mercado para destinação correta  
289 das dos animais mortos são limitadas e carecem em fatores tecnológicos. Apesar do processo  
290 de incineração ser, do ponto de vista sanitário, o mais seguro em relação ao controle de

291 patógenos, a liberação de poluentes aéreos é igualmente nociva ao meio ambiente e à saúde  
292 humana (SOUZA ET AL., 2014). Segundo Martinez et al. (2003) além dos gases de efeito  
293 estufa (GEE) lançados neste processo, as dioxinas e furanos também permanecem suspensas  
294 no ar após a incineração, em forma de material particulado.

295       Sistemas de destinação final de animais mortos de origem suína que agreguem valor e  
296 favoreçam manejos eficientes e cabíveis as leis ambientais, têm sido um dos grandes desafios  
297 do setor. Carvalho, Melo e Sousa e Soto (2014), avaliaram 37 granjas suínas no estado de São  
298 Paulo e constataram que apenas 27,03% dos entrevistados consideram que possuem sistema  
299 de compostagem de animais mortos e placentas satisfatório através da compostagem. Ainda,  
300 uma pesquisa realizada nas granjas do noroeste do Paraná por Adreazzi, Santos e Lazaretti  
301 (2015), concluíram que a destinação de animais de 62,5% das granjas é realizada através da  
302 compostagem e 12,50% simplesmente pelo enterramento.

303       Por isso, através do desenvolvimento e ampliação deste estudo almeja-se adequar os  
304 parâmetros da digestão anaeróbia como solução ambientalmente segura, economicamente  
305 viável e socialmente justa, para disposição final de animais mortos. Além da produção de  
306 coprodutos de valor econômico agregado, o sistema oferece outras vantagens como  
307 proporcionar bem-estar animal, melhora na qualidade de vida nos centros produtores de  
308 suínos e permanência dos animais mortos na propriedade. Ademais, ao destinar estes animais  
309 adequadamente na propriedade, a disseminação de patógenos gerada pelo transporte é evitada,  
310 contribuindo com a biossegurança do processo produtivo.

311

## 312 **CONCLUSÕES**

313

314       A Resolução nº 430/2011 do CONAMA foi atendida em relação a eficiência de  
315 remoção de DBO<sup>5</sup> no efluente final, sendo que a eficiência de remoção desta variável foi de  
316 83,57% e é limitada em no mínimo de 60%.

317       A remoção de ST foi de 75% enquanto na remoção de STV obtivemos 81,68%.

318       Apesar dos níveis de NT, 2.222 mg l<sup>-1</sup>, não se adequarem para lançamento do efluente  
319 em corpos hídricos sugere-se um estudo agrônomo para definição de limites de adubação  
320 para cada cultura utilizada.

321       O Limite Crítico Ambiental de P foi de 333,30 mg dm<sup>-3</sup> no efluente final, acima do  
322 que o recomendado para o solo. Portanto, sugerem-se estudos aprofundados para avaliação de  
323 capacidade receptora dos solos e transferência de P no ambiente solo-água-plantas.

324       Os resultados obtidos nas análises microbiológicas estiveram dentro dos limites

325 propostos pela Resolução nº 375/2006 do CONAMA, exceto a remoção de coliformes  
326 termotolerantes e *E. coli* que deverão ser monitorados na continuação do tratamento. Os  
327 micronutrientes Cu e Zn também estiveram dentro dos limites da resolução.

328

## 329 REFERÊNCIAS DO MANUSCRITO

330

331 ADREAZZI, M. A., SANTOS, J. M. G., LAZARETTI, R. M. J. Destinação dos resíduos da  
332 suinocultura em granjas das regiões noroeste e sudoeste do Paraná. **Revista Eletrônica em**  
333 **Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 744-751, 2015.

334 APHA - American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of**  
335 **Water and Wastewater**. Washington, 2005.

336 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatório Anual 2017**.  
337 São Paulo, SP, 2017.

338 BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey  
339 e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de**  
340 **Matemática e Estatística**, v. 21, n. 1, p. 67-83, 2003.

341 CARVALHO, B. V., MELO E SOUSA, A. P., SOTO, F. R. M. Avaliação de sistemas de  
342 gestão ambiental em granjas de suínos. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 1, 2015.

343 CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de  
344 agosto de 2006. **Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto**  
345 **gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá**  
346 **outras providências.** Disponível em:  
347 <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 14 de nov. de  
348 2017.

349 \_\_\_\_\_. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições de**  
350 **lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de**  
351 **2005.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>.  
352 Acesso em: 24 de fev. de 2016.

353 CFS-RS/SC (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC). **Manual de adubação e**  
354 **de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre,  
355 2016. 375 p.

356 COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta e**  
357 **preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.**

- 358 São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.
- 359 COTÉ, C.; MASSÉ, D. I.; QUESSY, S. Reduction of indicator and pathogenic  
360 microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. **Bioresource**  
361 **Technology**, v. 97, n. 4, p. 686-691, 2006.
- 362 DAI, X.; CHEN, S.; YONGGANG X.; DAI, L.; LI, N.; TAKAHASHIA, J. Hygienic  
363 treatment and energy recovery of dead animals by high solid co-digestion with vinasse under  
364 mesophilic condition: feasibility study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 297, p. 320-328,  
365 2015.
- 366 EDWARDS, J.; OTHMAN, M.; BURN, S. A review of policy drivers and barriers for the use  
367 of anaerobic digestion in Europe, the United States and Australia. **Renewable and**  
368 **Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 815-828, 2015.
- 369 GATIBONI, L.C. et al. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de**  
370 **Santa Catarina**. UDESC/CAV, Lages – SC. Boletim técnico nº 2, 2014, 38p.
- 371 GWYTHYR, C. L.; WILLIAMS, A. P.; GOLYSHIN, P. N.; EDWARDS-JONES, G.; JONES,  
372 D. L. The environmental and biosecurity characteristics of livestock carcass disposal methods:  
373 A review. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 767-778, 2011.
- 374 HAUTRIVE, T. P.; et al. Avaliação da composição centesimal, colesterol e perfil de ácidos  
375 graxos de cortes cárneos comerciais de avestruz, suíno, bovino e frango. **Alimentos e**  
376 **Nutrição**, v. 23, n. 2, p. 327-334, 2012.
- 377 MARTINEZ, J.; GUIZIOU, F.; PEU, P.; GUEUTIER, V. Influence of treatment techniques  
378 for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. **Biosystems Engineering**, v.  
379 85, n. 3, p. 347-354, 2003.
- 380 MASSÉ, D.I.; MASSE, L.H.; HINCE, J.F; POMAR, C. Psychrophilic anaerobic digestion  
381 biotechnology for swine mortality disposal. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 15, p. 7307-  
382 7311, 2008.
- 383 OLIVEIRA, P. A. V. de. **Projeto de biodigestores e estimativa de produção de biogás em**  
384 **sistema de produção**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 8p. (Embrapa Suínos e  
385 Aves. Comunicado Técnico, 417).
- 386 PATTERSON, K.Y. et al. **The USDA Nutrient Data Set For Fresh Pork**. Maryland: U.S  
387 Department of Agriculture, 2009. 27 p.
- 388 PESARO, F. In situ inactivation of animal viruses and a coliphage in non-aerated liquid and  
389 semiliquid animal wastes. **Applied Environmental Microbiology**, v. 61, n.1, p. 92-97, 1995.
- 390 SACHETTI, Á.S., ROJAS, J.W.J. HEINECK, K.S. Caracterização geotécnica dos solos de  
391 Passo Fundo e Erechim, e geológica da Rocha de Passo Fundo. **Revista de Engenharia Civil**

- 392 **IMED**, v. 1, n. 1, p. 11-17, 2014.  
393
- 394 SCHERER, E.E., NESI, C.N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por  
395 sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas da Região Oeste Catarinense.  
396 **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 12, p. 1375-1383, 2010.  
397
- 398 SOUZA, J. et al. Usinas para tratamento de RSU: Biodigestão anaeróbia versus Incineração.  
399 **Espacios**. v. 35, n. 11, 2014.
- 400 NEPA – UNICAMP. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4ed. Campinas:  
401 NEPA- UNICAMP, 2011. 161 p.
- 402 VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: princípios**  
403 **básicos do tratamento de esgotos**. 5ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia  
404 Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996. vol. 2, 211 p.
- 405 XIA, Y. et al. Anaerobic digestibility of beef hooves with swine manure or slaughterhouse  
406 sludge. **Waste Management**, v. 38, n. 18, p. 443-448, 2015.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mortalidade animal é um dos mais importantes fluxos de resíduos na economia rural e o tratamento de animais mortos e efluentes através do processo de digestão anaeróbia apresentou-se como um método eficaz para disposição final de animais mortos. O processo é de fácil manejo, previne odores indesejados gerados pela decomposição e ainda contribui para o desenvolvimento de energias renováveis, o biogás, e reaproveitamento de resíduos que são fatores indispensáveis para o desenvolvimento sustentável na agricultura e pecuária brasileiras.

O estudo contribuiu para o desenvolvimento e consolidação no mercado de novas tecnologias que garantam a eficiência e rapidez no processo de degradação dos animais mortos impróprios para consumo, promovendo a biossegurança das propriedades bem como seu desenvolvimento sustentável nas esferas social, econômica e ambiental. Entretanto, para a sua consolidação, faz-se necessária um monitoramento contínuo do sistema de tratamento, sendo indispensável a utilização de lagoas sequencias ao tratamento no digestor de animais mortos. Propõe-se também, a utilização de sistema de aquecimento do lodo tratado, através do biogás gerado, a fim de promover a eficiência de eliminação de possíveis organismos patogênicos e aumentar os níveis de produção de biogás.

Por fim, recomenda-se novos estudos na área de saúde pública envolvendo repetições de análises em diferentes propriedades, bem como a avaliação de ecotoxicologia do solo envolvendo um gradiente textural a fim de verificar a capacidade e suporte de diferentes tipos de solo para o efluente em questão.

#### 4. REFERÊNCIAS DA DISSERTAÇÃO

AMARAL, A. L. do. et al. **Boas práticas de produção de suínos**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2006. 60 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 50).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatório Anual 2017**. São Paulo, SP, 2017.

BRASIL. Câmara dos Deputados. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7390](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7390)>. Acesso em: 13 de set de 2017.

\_\_\_\_\_. Câmara dos Deputados. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono)** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Ministério do Desenvolvimento Agrário, coordenação da Casa Civil da Presidência da República. – Brasília : MAPA/ACS, 2012. 173 p.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br>>. Acesso em: 13 de set de 2017.

BELLI FILHO, P.; CASTILHOS JR., A. B.; COSTA, R. H. R.; SOARES, S. R.; PERDOMO, C. C. Tecnologias para o tratamento de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 5, n. 1, p. 166-170, 2001.

CABRAL, J. R. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 8, p. 823–831, 2011

CANTRELL, K.B., DUCEY, T., RO, K.S., HUNT, P.G. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. **Bioresource Technology**, v. 99,n. 17 p. 7941–7953, 2008.

COTÉ, C.; MASSÉ, D. I.; QUESSY, S. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. **Bioresource**

**Technology**, v. 97, n. 4, p. 686-691, 2006.

DAI, X.; CHEN, S.; YONGGANG X.; DAI, L.; LI, N.; TAKAHASHIA, J. Hygienic treatment and energy recovery of dead animals by high solid co-digestion with vinasse under mesophilic condition: feasibility study. **Journal of Hazardous Materials**, v. 297, n. 25, p. 320-328, 2015.

DIAS, F. P. **A incineração de resíduos sólidos: análise custo benefício do incinerador de resíduos sólidos do P-Sul – DF**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

EDWARDS, J.; OTHMAN, M.; BURN, S. A review of policy drivers and barriers for the use of anaerobic digestion in Europe, the United States and Australia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 815-828, 2015.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Nota Técnica 2 ° Workshop do projeto “Tecnologias para destinação de animais mortos - TEC-DAM”**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/tec-dam/nota-tecnica>> Acesso em: 01 out. 2017.

FATMA – FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa IN-11**. Portaria Intersetorial nº01/04, de 24.03.2004. Florianópolis: FATMA, 2004.

FEC SERVICES. **Anaerobic digestion, storage, oligolysis, lime, heat and aerobic treatment of livestock manures - Final report**. Provision of research and design of pilot schemes to minimise livestock pollution to the water environment in Scotland. Escócia, 2003.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER. **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura**. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret\\_suinos\\_novos.pdf](http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret_suinos_novos.pdf)>. Acesso em: 10 de set. de 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS (FAO). **Biannual report on global food markets – Food Outlook 2015**. Estados Unidos, 2015.

GASPAR, R; LERÍPIO, A. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2003.

GWYTHER, C. L.; WILLIAMS, A. P.; GOLYSHIN, P. N.; EDWARDS-JONES, G.; JONES, D. L. The environmental and biosecurity characteristics of livestock carcass disposal methods: A review. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 767-778, 2011.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014. **Fifth Assessment Synthesis Report - Summary for Policymakers**. Disponível em: < <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>. Acesso em: 15 ago 2015.

LIELI, C. et al. Análise e avaliação da aplicação do plano ABC no estado de Mato Grosso. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 9, n. 4, 2017.

MARTINEZ, J.; GUIZIOU, F.; PEU, P.; GUEUTIER, V. Influence of treatment techniques for pig slurry on methane emissions during subsequent storage. **Biosystems Engineering**, v. 85, n. 3, p. 347-354, 2003.

MASSÉ, D.I.; MASSE, L.H.; HINCE, J.F; POMAR, C. Psychrophilic anaerobic digestion biotechnology for swine mortality disposal. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 15, p. 7307-7311, 2008.

MIRANDA, C. R. **Avaliação de estratégias para a sustentabilidade da suinocultura**. 2005. 264p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: A alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1992. 93 p.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Influência da temperatura na produção de biogás**. In: REUNIÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA, 1983, Santa Maria. Anais. Santa Maria: UFSM,1983. p.32-38.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Produção e aproveitamento do biogás. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**. Manual de boas práticas. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, p.42-55, 2004.

OLIVEIRA, P. A. V. de. **Projeto de biodigestores e estimativa de produção de biogás em sistema de produção**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 8p. (EMBRAPA Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 417).

OLIVEIRA, P. A.; HIGARASHI, M.; NUNES, M. L. **Emissão de gases, na suinocultura, que provocam efeito estufa**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2004. 12 p.

PAIVA, D.P.; BLEY JÚNIOR, C. **Emprego da compostagem para destinação final de suínos mortos e restos de parição.** Circular Técnica, 26. Embrapa Suínos e Aves- Santa Catarina, 2001.

PALHARES, J. C. **O manejo hídrico na produção de suínos.** 2011. Disponível em:<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/905188/1/Aguas>. Acesso em: 01 out. 2017.

PESARO, F. In situ inactivation of animal viruses and a coliphage in non-aerated liquid and semiliquid animal wastes. **Applied Environmental Microbiology**, v. 61, n.1, p. 92-97, 1995.

PORTAL DO BIOGÁS. **A geração do biogás.** Disponível em:<<http://www.portaldobiogas.com/a-geracao-de-biogas/>>. Acesso em: 01 out. 2017.

SANCHEZ, E., et al. Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 335-344, 2005.

SILVA, G. P., MARQUES, S. M. T. Impacto dos maus odores decorrentes da suinocultura na saúde de moradores rurais no município de Concórdia, Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.3, n.2, p. 135-141, 2004.

SOTO, F. R. M. et al. Parâmetros microbiológicos e físico-químicos em um sistema de compostagem experimental de carcaças e dejetos sólidos de suínos. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 3, 2017.

SOUZA, J. et al. Usinas para tratamento de RSU: Biodigestão Anaeróbia versus Incineração. **Espacios**. v. 35, n. 11, 2014a.

\_\_\_\_\_. A method for biogas plants design. **Espacios**. V. 35, n.6, 2014b.

SOUZA, C. F.; CAMPOS, J. A.; SANTOS, C. R.; BRESSAN, W. S.; MOGAMI, C. A. Produção volumétrica de metano – dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 219-224, 2008.

STEIL L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos.** 2001. 108f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos - Um Manual para Regiões de Clima Quente**. Campina Grande/PB, 1994.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, vol. 2, 1996a.

\_\_\_\_\_. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: princípios básicos do tratamento de esgotos**. 5ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996b. vol. 2, 211 p.

\_\_\_\_\_. **Lagoas de Estabilização**. 2ed. Belo Horizonte: Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996c. vol. 2, 220p.

XIA, Y.; WANG, D.K.; YUNHONG, K.; UNGERFELD, E.M.; SEVIOUR, R.; MASSÉ, D. Anaerobic digestibility of beef hooves with swine manure or slaughterhouse sludge. **Waste Management**, v. 38, p. 443-448, 2015.