



**ENGENHARIA DE  
BIOSSISTEMAS**  
IFSP – CAMPUS AVARÉ

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO**

**CAMPUS AVARÉ**

**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

**JAMIL SIMPLICIO PINTO**

**AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE DEJETOS DA  
SUINOCULTURA**

**AVARÉ  
2021**

**JAMIL SIMPLICIO PINTO**

**AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE DEJETOS DA  
SUINOCULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biosistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus Avaré*, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Biosistemas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcela Pavan Bagagli

AVARÉ  
2021

Catálogo na fonte  
Instituto Federal de São Paulo – Campus Avaré

Pinto, Jamil Simplício

Avaliação de Tecnologias para o Tratamento de Dejetos da Suinocultura - Avaré, 2021.  
60 p.

Orientador: Marcela Pavan Bagagli

Monografia (Graduação – Engenharia de Biosistemas) – Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Avaré, Avaré,  
2021.

1. Suinocultura. 2. Sustentabilidade. 3. Dejetos. I. Bagagli, Marcela Pavan. II Título.

**JAMIL SIMPLICIO PINTO**

**AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE DEJETOS DA  
SUINOCULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Biosistemas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - *Campus Avaré*, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Biosistemas.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Marcela Pavan Bagagli  
Instituto Federal de São Paulo - *Câmpus Avaré*

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina Marques  
Instituto Federal de São Paulo - *Câmpus Avaré*

---

Prof<sup>o</sup>. Me. Celso Daniel Galvani Junior  
Instituto Federal de São Paulo - *Câmpus Avaré*

Avaré, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021.

À Deus, por todos os momentos  
evidenciar sua plenitude em minha vida,  
dando-me coragem, para cada dia de luta  
fazer com que a vitória repouse numa breve  
noite de descanso. Possibilitando perseverar  
sobre cada turbulência acometida,  
fortalecendo-me para as novas jornadas.

Dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha amada esposa Ana Paula Dias Pinto, por apoiar, confiar e prosperar sempre ao meu lado.

Agradeço aos meus pais Antônio Pinto e Maria Jacira S. Pinto, por confiarem em mim, seus ensinamentos para a vida.

Agradeço a todos professores, por transmitir seus conhecimentos com amor e carinho, acreditando na vitória.

Agradeço à minha orientadora do presente trabalho, Marcela Pavan Bagagli, por aceitar este desafio e contribuir fortemente para meu desenvolvimento acadêmico.

Agradeço aos professores Estela Aparecida Fernandes Soares e Fábio de Crivelli de Avila, pelo acolhimento no primeiro dia desta jornada e por revelarem a magia por trás do cálculo.

Agradeço ao meu amigo, Rafael Ranal Santoro, pela cumplicidade e companheirismo nesta jornada.

Agradeço aos colegas de turma, por sempre estarem dispostos a me auxiliar nas necessidades acadêmicas do dia a dia.

Agradeço a todos que de alguma forma, participaram desta jornada acreditando na vitória.

“A tarefa é não tanto para ver o  
que ninguém viu ainda, mas pensar o  
que ninguém ainda pensou sobre o que  
todo mundo vê”.

(Arthur Schopenhauer, 1851).

## RESUMO

Ganhando espaço como uma importante atividade no cenário socioeconômico nacional e através das exportações, o reconhecimento mundial, a suinocultura se destaca pela alta produtividade de carne e pela grande quantidade de dejetos produzidos, afetando diretamente as condições ambientais naturais quando não são tratados adequadamente. O presente trabalho sintetiza as principais técnicas, processos e tecnologias utilizadas para o tratamento de dejetos provenientes das atividades suinícolas, enfatizando os sistemas utilizados com maior frequência nas suinoculturas atuais. Contextualmente, a revisão bibliográfica integrativa abordou metodologias diversas explorando pesquisas científicas, reportagens, banco de dados da Web e trabalhos acadêmicos datados de 1993 a 2020 com enfoque principal os sistemas de tratamentos de dejetos suínos interligados a fatores ambientais. Desta forma, resultou através da pesquisa bibliográfica que os tratamentos dos dejetos suínos se tornam cada vez mais necessários em função da produtividade para o atendimento da demanda de consumo, da preservação do meio ambiente, sustentabilidade dos recursos naturais, da geração de energia através do biogás e recuperação de nutrientes para utilizações agronômicas.

**Palavras-chave:** Suinocultura. Sustentabilidade. Dejetos.

## **ABSTRACT**

Gaining space as an important activity in the national socioeconomic scenario and, through exports, world recognition, pig farming stands out for its high meat productivity and the large amount of waste produced, directly affecting the natural environmental conditions when not properly treated. The present work summarizes the main techniques, processes, and technologies used to treat waste from swine farming activities, emphasizing the systems most frequently used in current swine farms. Contextually, the integrative literature review approached diverse methodologies exploring scientific research, reports, Web database, and academic papers dated from 1993 to 2020 with the main focus on the systems of swine manure treatment interconnected to environmental factors. Thus, it resulted through literature research that the treatment of swine waste is becoming increasingly necessary due to the productivity to meet the demand for consumption, environmental preservation, sustainability of natural resources, energy generation through biogas and nutrient recovery for agronomic uses.

**Keywords:** Pig farming. Sustainability. Waste.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Principais interferências nos recursos naturais trazidos pela suinocultura.   | 16 |
| Figura 2  | Fluxograma das possibilidades de tratamento de dejetos suínos e suas possíveis combinações  | 24 |
| Figura 3  | Peneira estática para o tratamento preliminar dos dejetos suínos.   | 26 |
| Figura 4  | Peneiras dinâmicas para o tratamento preliminar dos dejetos suínos (a), (b).  | 27 |
| Figura 5  | Decantador de palhetas – croqui.  | 28 |
| Figura 6  | Equalizador de vazão para o tratamento preliminar de dejetos suínos.  | 30 |
| Figura 7  | Zonas de rações biológicas de uma lagoa facultativa.  | 33 |
| Figura 8  | Sistema de tratamento de dejetos líquidos de suínos via digestão anaeróbia.   | 34 |
| Figura 9  | Etapas da digestão anaeróbia.   | 35 |
| Figura 10 | Sistema de revolvimento da compostagem com pás rotativas e helicoides.  | 39 |
| Figura 11 | Revolvimento e incorporação da compostagem por implemento acoplado ao trator.   | 41 |
| Figura 12 | Compostagem produzida em ambiente protegido   | 44 |
| Figura 13 | Sistema de revolvimento da compostagem com pás rotativas e Helicóides.  | 45 |
| Figura 14 | Revolvimento e incorporação da compostagem por implemento acoplado ao trator.   | 45 |
| Figura 15 | Compostagem produzida em ambiente protegido. (a) vista externa da estrutura para a condução do processo de compostagem de dejetos suínos; (b) baias para deposição dos dejetos líquidos de suínos sobre o leito de substrato. | 46 |
| Figura 16 | Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura (SISTRATES).   | 49 |
| Figura 17 | Diagrama funcional da ferramenta de gestão ambiental DPSIR.   | 52 |
| Quadro 1  | Comparativo de técnicas, processos e tecnologias utilizadas para o tratamento de dejetos suínos.  | 50 |

## LISTA DE TABELAS

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Exigências em relação ao licenciamento ambiental em função da quantidade de matrizes de suínos na propriedade. | 21 |
| Tabela 2 | Produção média diária de dejetos nas diferentes categorias de suínos.  | 22 |
| Tabela 3 | Volume estimado de dejetos líquidos de suínos produzidos diariamente de acordo com o sistema de produção.      | 23 |
| Tabela 4 | Características de dejetos líquidos de suínos em função de seu teor de matéria seca.                           | 23 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |  |
|-----------|--|
| AC        | Antes de Cristo  |
| BIO       | Biodigestor  |
| C         | Comprimento  |
| CONAMA    | Conselho Nacional do Meio Ambiente                       |
| DBO       | Demanda Bioquímica de Oxigênio                           |
| DPSIR     | <i>Driving Forces, Pressure, State, Impact, Response</i> |
| L         | Largura  |
| LI        | Licença de Instalação                                    |
| LO        | Licença de Operação                                      |
| LP        | Licença Prévia   |
| N         | Nitrogênio   |
| NPK       | Nitrogênio, Fósforo e Potássio                           |
| P         | Fósforo  |
| PEAD      | Polietileno de Alta Densidade                            |
| pH        | Potencial Hidrogeniônico                                 |
| PVC       | Policloreto de Vinil                                     |
| SISTRATES | Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura       |
| UPL       | Unidade Produtora de Leitões                             |
| UPS       | Unidade Produtora de Suínos                              |

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>   | <b>15</b> |
| <b>2. OBJETIVOS</b>  | <b>19</b> |
| Objetivo geral:.....   | 19        |
| Objetivo específico:.....  | 19        |
| <b>3. METODOLOGIA</b>  | <b>20</b> |
| <b>4. DESENVOLVIMENTO</b>  | <b>20</b> |
| 4.1. Licenciamento ambiental .....   | 20        |
| 4.2. Caracterização dos dejetos suínos .....   | 22        |
| 4.3. Principais técnicas para o tratamento de dejetos utilizados na suinocultura ... | 24        |
| 4.3.1. Tratamento físico .....   | 25        |
| 4.3.1.1. Separação de fases .....  | 25        |
| 4.3.1.2. Peneiramento .....  | 25        |
| 4.3.1.3. Decantação .....  | 27        |
| 4.3.1.4. Centrifugação .....   | 29        |
| 4.3.1.5. Equalizador .....   | 29        |
| 4.3.2. Tratamento químico .....  | 30        |
| 4.3.3. Tratamento biológico .....  | 30        |
| 4.3.3.1. Tratamento aeróbico .....   | 31        |
| 4.3.3.1.1. Lagoas de Estabilização .....   | 32        |
| 4.3.3.1.2 Lagoas de aguapé .....   | 32        |
| 4.3.3.1.2 Lagoas Facultativas .....  | 35        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.3.3.2. Tratamento anaeróbio .....   | 37        |
| 4.3.3.2.1. Lagoas anaeróbias .....  | 37        |
| 4.3.3.2.2. Digestão anaeróbia – Biodigestor .....   | 38        |
| 4.4. Cenário atual para o tratamento de dejetos suínos .....                                  | 42        |
| 4.4.1. Ferramentas para a avaliação do impacto ambiental da criação de suínos:<br>DPSIR ..... | 51        |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>  | <b>53</b> |
| <b>REFERÊNCIAS</b>  | <b>55</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Registros arqueológicos da domesticação de suínos datam de aproximadamente 9.000 anos AC na Grécia e Turquia e por volta de 6.000 anos AC na China e Egito. Trazida da Europa por colonizadores portugueses, a suinocultura chegou ao Brasil por volta de 1.532. O cruzamento de animais europeus, asiáticos e indianos, permitiu a adaptação ao clima tropical, favorecendo as criações através do desenvolvimento de raças próprias com padrões desejáveis. No entanto, a maioria delas foram extintas e substituídas por raças consideradas melhores e mais produtivas (FAGNELLO, 2009).

O Brasil, no ano de 2019, ocupava a quarta posição no ranking de maiores produtores de carne suína do mundo com 3.975 mil toneladas, atrás dos Estados Unidos (12.542 mil toneladas), União Europeia (23.935 mil toneladas) e a grande potência, China (42.550 mil toneladas) (USDA, 2020).

A região Sul do Brasil detém o maior rebanho do país com aproximadamente 20 milhões de cabeças, sendo responsável por cerca de 50% do total nacional. Ainda em 2019, Santa Catarina manteve a liderança entre os Estados brasileiros com 7,6 milhões de cabeças, seguido por Paraná (6,8 milhões cabeças) e Rio Grande do Sul (5,6 milhões de cabeças) (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2020).

Nas últimas décadas, a suinocultura ganhou espaço como uma atividade de importância no cenário socioeconômico nacional e, através das exportações, o reconhecimento internacional. A grande produção de carne suína ainda pode ser beneficiada pela extensão geográfica do Brasil, que possibilita o aumento do rebanho suíno, o que precisa ser feito sem deixar de lado questões ambientais de sustentabilidade dos recursos naturais como água, solo e ar (COLONI, 2011).

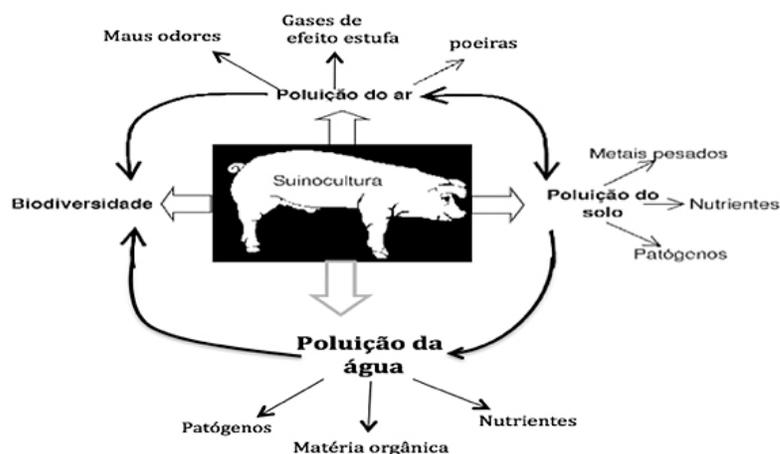
O balanço entre consumo de recursos naturais, emissões e obtenção de lucro deve ser levado em conta ao se avaliar um sistema de produção animal para fins alimentícios, permitindo ao produtor tomar ações conscientes para a redução dos

impactos ambientais de seu negócio. Neste ponto, o manejo de dejetos dos animais é um fator de elevada representatividade (EMBRAPA, 2017).

Na suinocultura, em especial onde a densidade de animais é elevada, os dejetos podem exceder a capacidade de absorção dos ecossistemas locais, podendo causar poluição de águas e ar além de ser um ótimo meio para a proliferação de micro-organismos patogênicos e/ou deteriorantes (PEREIRA *et al.*, 2009).

A deposição de dejetos suínos em corpos d'água resulta em um aumento populacional de micro-organismos aeróbios e facultativos capazes de extrair o oxigênio dissolvido presente na água (MACHADO & SONEGATTI, 2008). Doenças transmissíveis ao homem, proliferação de moscas, mau cheiro, eutrofização de cursos d'água, morte de animais e peixes, contaminação do solo por altas cargas de nitratos, cobre e zinco podem vir a percolar a profundidades significativas, podendo contaminar as águas subterrâneas ou até mesmo às águas superficiais pelo escoamento dos dejetos até os cursos d'água (DA SILVA; BASSI; NASCIMENTO; 2011). A Figura 1 exemplifica as diversas vertentes dos possíveis impactos ambientais trazidos pela suinocultura.

Figura 1 - Principais interferências nos recursos naturais trazidos pela suinocultura.



Fonte: DA SILVA, BASSI, NASCIMENTO, (2011).

Desta forma, o expressivo volume de dejetos produzidos na suinocultura torna-se um dos maiores problemas ambientais relacionados a esta atividade econômica (PEREIRA *et al.*, 2009). A falta de manejo adequado e dimensionado dos resíduos, muitas vezes, faz com que sejam lançados em cursos d'água, áreas de mananciais e solos degradados sem a efetiva conclusão dos processos de tratamentos. Essas práticas, em muitos países, incluindo o Brasil, têm causado sérios desequilíbrios ecológicos que advém da crescente demanda da produção de proteínas de origem animal (PEREIRA *et al.*, 2009).

No contexto nacional, uma propriedade produtora de suínos de médio porte do sul do Brasil possui, em média, aproximadamente 600 matrizes para produção de leitões ou cerca de 750 animais em terminação. Por sua maioria, propriedades desta região do país provém de produtores familiares que não possuem extensas áreas agrícolas que possam absorver os dejetos na forma de biofertilizantes na agricultura. Contudo, suinoculturas de grande porte do centro-oeste e sudeste possuem unidades com mais de 4 mil matrizes para produção de leitões ou animais de terminação e que, em sua maioria, possuem extensas áreas de produção agrícola que são capazes de absorver a alta demanda de nutrientes (NICOLOSO *et al.*, 2016).

A suinocultura é uma atividade produtiva que demanda uma grande quantidade do nobre recurso, a água e, como já colocado, esse sistema produtivo apresenta potencial poluidor de águas (MAPA, 2016). De acordo com a Instrução Normativa nº 11 de fevereiro de 2009 do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA, 2009), o consumo de água por animal por dia varia de 8,3 a 72,9 litros, dependendo do modelo de sistemas de produção de suínos adotado pela propriedade. Uma unidade destinada à produção de leitões consome em média 35,3L de água por dia por animal. Já nas unidades de terminação de suínos, esse volume médio é de 8,3L por dia por animal.

De acordo com Oliveira (2002), em condições normais de criação, sem que o animal passe por algum tipo de estresse, seu consumo diário corresponde a aproximadamente 6% do peso corporal. Essa necessidade é maior em animais mais

jovens devido a fatores como a taxa de respiração, relação da superfície corporal e a menor capacidade de concentrar a urina.

A escolha de um sistema de manejo adequado baseia-se em diversos fatores como capacidade das instalações, sistema de criação, disponibilidade de área, operacionalidade do sistema, mão de obra, custos, legislação, potencial de poluição dos dejetos, entre outros característicos dos sistemas (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015).

A realização do manejo de dejetos de suínos pode se utilizar de dois métodos fundamentais, o armazenamento ou tratamento. O armazenamento consiste na deposição dos dejetos em lagoas por determinado período, objetivando o processo fermentativo e oxidativo da biomassa reduzindo a carga patogênica do material. O tratamento conjuga técnicas, processos e instalações mais específicas para reaproveitamento dos dejetos, minimizando os fatores poluidores ambientais, potencializando os nutrientes para a utilização como fertilizantes na agricultura (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015).

O desenvolvimento e aplicação prática de tecnologias para o manejo adequado dos dejetos suinícolas, para diferentes sistemas de produção, é de grande importância para o desenvolvimento da atividade econômica sem desbalancear o meio ambiente em que se insere. Desta forma este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão da literatura sobre as tecnologias empregadas no manejo dos efluentes gerados na criação de suínos, apresentando alternativas para pequenos, médios e grandes sistemas produtivos.

## 2. OBJETIVOS

### **Objetivo geral:**

Avaliar as tecnologias aplicadas no tratamento de dejetos suínos de acordo com sua capacidade produtiva.

### **Objetivo específico:**

- a) Caracterizar dejetos suínos e fazer o levantamento quantitativo de sua geração;
- b) Conceituar licenciamento ambiental e apontar o que aplica ao tratamento de dejetos suínos no Brasil;
- c) Pesquisar e identificar técnicas utilizadas para o tratamento de dejetos suínos aplicados no Brasil;
- d) Descrever o cenário atual (Estado da Arte) para o tratamento de dejetos suínos no Brasil;

### **3. METODOLOGIA**

Para o presente trabalho utilizou-se o método de revisão bibliográfica integrativa, que aborda metodologias diversas, buscando a integração dos resultados. Buscas rigorosas acerca dos principais processos e técnicas para o tratamento de dejetos suínos aplicados no Brasil foram realizadas. Bancos de dados da WEB como: Scielo, Google Acadêmico, Embrapa, entre outros foram utilizados.

Para compor a presente revisão bibliográfica, documentos publicados de 1993 a 2020 foram utilizados. Para as pesquisas de documentos publicados, palavras chaves como dejetos suínos, produção de suínos, suinocultura sustentável, tratamento de dejetos foram utilizadas para sanar as indagações sobre as tecnologias e processos utilizados para o tratamento de dejetos suínos aplicados no Brasil.

### **4. DESENVOLVIMENTO**

#### **4.1. Licenciamento ambiental**

O licenciamento ambiental pode ser entendido como um procedimento administrativo, na qual o órgão ambiental responsável outorga a localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividade que utilizam dos recursos naturais e que podem ser consideradas efetivas ou potencialmente poluidoras considerando as disposições legais e regulamentares além das normas técnicas aplicáveis a cada caso (PALHARES, 2008).

Disposto no art 8º, incisos I, II, III da Resolução CONAMA nº 237/97 o poder público no exercício de sua competência de controle expedirá as licenças:

Concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, a Licença Prévia (LP) aprova sua localização, concepção e sua viabilidade ambiental atendendo requisitos básicos e condicionantes para outras etapas do licenciamento

ambiental. A Licença de Instalação (LI) autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as condicionantes dos planos, programas e projetos aprovados anteriormente incluindo as medidas de controle ambiental da qual constituem o motivo determinante. Por fim, a autorização do efetivo exercício do empreendimento ou atividade é outorgada pela Licença de Operação (LO) que verifica o cumprimento dos constantes das licenças anteriores com as devidas medidas de controle ambiental e seus condicionantes para a operação (CONAMA nº 237, 1997).

Além da produtividade e competitividade econômica, qualquer sistema de produção animal deve primar pela proteção ambiental, não somente pela exigência legal, mas, também, por proporcionar melhor qualidade de vida à população rural e urbana (EMBRAPA Suínos e Aves, 2003). De acordo com o Decreto do Estado de São Paulo nº 63.119/17, a obrigatoriedade do licenciamento ambiental para a atividade de criação de suínos passou a vigorar a partir de 20 de março de 2018.

Tabela 1 - Exigências em relação ao licenciamento ambiental em função da quantidade de matrizes de suínos na propriedade

| Tamanho da propriedade em relação ao número de matrizes | Exigências  |
|---|---|
| ≤ 500   | Declaração de conformidade de atividade agropecuária emitida pela secretaria de agricultura |
| >500 ≤ 2000   | Licença única concedida em processo de licenciamento ambiental simplificado                 |
| > 2000  | Verificação e solicitação de licença específica no portal de licenciamento ambiental        |

Fonte: Decreto do Estado de São Paulo nº 63.119/17, adaptado.

## 4.2. Caracterização dos dejetos suínos

O volume de dejetos produzido não está limitado à quantidade de urina e fezes dos animais em suas diferentes fases. Fatores como a concepção das instalações, tipo de bebedouros, alimentação, sistema de limpeza podem aumentar significativamente o volume final de dejetos. A escolha de bebedouros adequados a cada fase dos animais e em quantidades apropriadas, utilização de equipamentos para a limpeza que possuam alta pressão e baixa vazão de água, evitar que água de telhados e enxurrada escoem para as esterqueiras podem reduzir significativamente o volume de dejetos a ser tratado (DARTORA *et al.*, 1998).

A quantidade de urina e fezes produzidas são afetadas por diversos fatores que interferem no metabolismo e digestão desses animais. Entre esses fatores, podemos citar os zootécnicos, que consideram a categoria, sexo, raça e sistemas de criações; os ambientais, como a temperatura e umidade; e dietéticos, como a digestibilidade, conteúdo de fibra alimentar e proteínas (DARTORA *et al.*, 1998). A Tabela 2 apresenta a produção diária média de dejetos por categoria de suíno.

Tabela 2 – Produção média diária de dejetos nas diferentes categorias de suínos.

| Categoria                 | Esterco (kg/dia) | Esterco + urina (kg/dia) | Dejetos líquidos (litros/dia) |
|---------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Suínos 25 a 100 kg        | 2,30             | 4,90                     | 7,00                          |
| Porcas gestação           | 3,60             | 11,00                    | 16,00                         |
| Porcas lactação + leitões | 6,40             | 18,00                    | 27,00                         |
| Cachaço                   | 3,00             | 6,00                     | 9,00                          |
| Leitões na creche         | 0,35             | 0,95                     | 1,40                          |

Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA, 1993).

O volume de água contido nos dejetos é um dos fatores que mais afeta o volume total de efluentes. Desta forma, segundo Dartora *et al.* (1998), existem valores práticos que contribuem no cálculo estimado de produção diária de dejetos para os diferentes sistemas de produção de suínos, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Volume estimado de dejetos líquidos de suínos produzidos diariamente de acordo com o sistema de produção.

| Sistema de produção            | Volume diário de dejetos |
|--------------------------------|--------------------------|
| Ciclo completo                 | 85 litros/matriz         |
| Unidade produção leitões (UPL) | 45 litros/matriz         |
| Terminador                     | 9 litros/cabeça          |

Fonte: (DARTORA *et al.*, 1998).

A Tabela 4 apresenta valores analisados dos principais componentes que caracterizam os dejetos líquidos da suinocultura de ciclo completo (nitrogênio, fósforo, potássio, matéria seca e a demanda bioquímica de oxigênio - DBO). A determinação da diluição dos dejetos está associada basicamente com a alimentação, tipo de bebedouro e manejo e sistema de limpeza, que por sua vez, alteram as características físico-químicas dos dejetos de acordo com o grau de diluição destes (DARTORA *et al.*, 1998).

Tabela 4 – Características de dejetos líquidos de suínos em função de seu teor de matéria seca.

| Grau de diluição | M. S. (%) | DBO (mg/L) | N (%) | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) | K <sub>2</sub> O (%) |
|------------------|-----------|------------|-------|-----------------------------------|----------------------|
| Concentrado      | 5-6       | 40.000     | 0,49  | 0,48                              | 0,31                 |
| Semiconcentrado  | 4-5       | 33.000     | 0,44  | 0,41                              | 0,28                 |
| Semidiluído      | 3-4       | 27.000     | 0,37  | 0,31                              | 0,23                 |
| Diluído          | 2-3       | 21.000     | 0,31  | 0,23                              | 0,19                 |
| Muito diluído    | <2        | 15.000     | 0,26  | 0,14                              | 0,16                 |

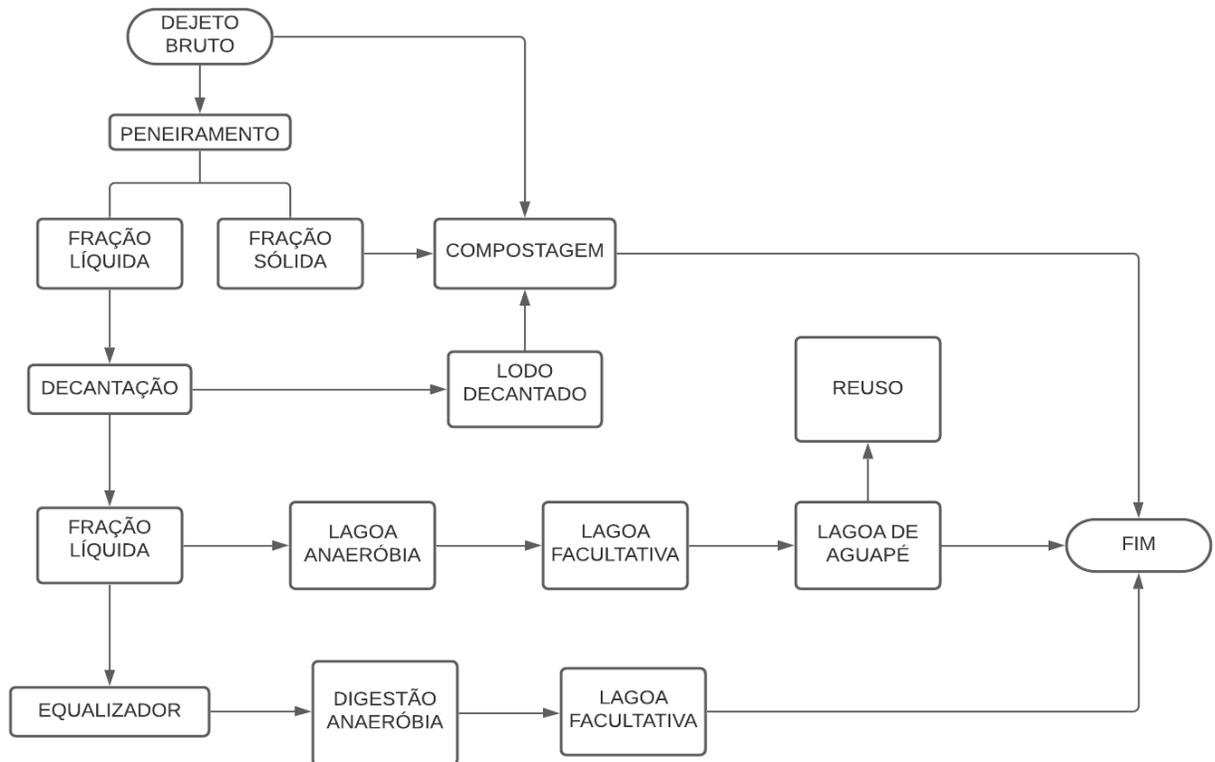
M. S. (%) - Matéria Seca; DBO (mg/L) - Demanda Bioquímica de Oxigênio; N (%) - Nitrogênio; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%) - Pentóxido de Difósforo; K<sub>2</sub>O (%) - Cloreto de Potássio.

Fonte: (DARTORA *et al.*, 1998).

### 4.3. Principais técnicas para o tratamento de dejetos utilizados na suinocultura

Atualmente as técnicas empregadas no tratamento de dejetos de suínos consistem em processos físicos, químicos e biológicos com o intuito de reduzir a carga de poluente (DIAS *et al.*, 2016). Buscando a integralização das técnicas, processos e tecnologias, a Figura 2 exemplifica as possíveis vertentes para o tratamento de dejetos suínos adequados às necessidades dos suinocultores.

Figura 2 – Fluxograma das possibilidades de tratamento de dejetos suínos e suas possíveis combinações.



Fonte: DIAS *et al.* (2016) (adaptado).

### **4.3.1. Tratamento físico**

Os tratamentos físicos são métodos em que os dejetos passam por um ou mais processos físicos para a separação das partes sólidas e líquidas. Dessa forma, a separação pode ser realizada por processos de peneiramento, decantação e centrifugação (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015).

#### **4.3.1.1. Separação de fases**

Esta operação consiste na separação das partículas maiores presentes nos dejetos, da fração líquida. Desta forma, a obtenção de dois produtos:

- A fração líquida e mais fluida, porém, conservando as mesmas concentrações de elementos fertilizantes solúveis, presentes nos dejetos brutos;
- A fração sólida com uma umidade próxima de 70%, apresentando agregação, podendo passar por um sistema de prensagem para a eliminação máxima da umidade. Por fim, podendo ser conduzido para compostagem.

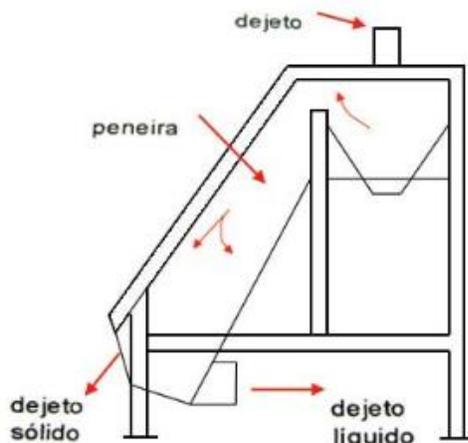
Partículas maiores de 10  $\mu\text{m}$  (0,01 mm) presentes nos dejetos líquidos podem ser removidas pelos seguintes processos: peneiramento, decantação e centrifugação (OLIVEIRA, 1993).

#### **4.3.1.2. Peneiramento**

O objetivo desse processo é a obtenção de duas frações bem distintas dos dejetos, líquida e sólida. Este tratamento facilita o processamento dos dejetos, pois com a separação de fases adota-se sistemas diferenciados no tratamento dos dejetos (OLIVEIRA, 1993), facilitando o tratamento da fração líquida a ser tratada, além da possível agregação de valor após o envio dos sólidos para compostagem (EMBRAPA, 2003). A eficiência de remoção dos sólidos por peneiras fica entre 3 e 10% para as peneiras estáticas e de 40% para as vibratórias (OLIVEIRA, 2002). O equipamento é, geralmente, construído em aço, possuindo uma câmara para abastecimento e diminuição da turbulência dos dejetos na entrada do processo, peneiras com malhas adequadas de

acordo com a granulometria das partículas em suspensão e câmara de escoamentos dos dejetos líquidos que serão encaminhados para o próximo processo (EMBRAPA, 2003). Como mostra a Figura 3.

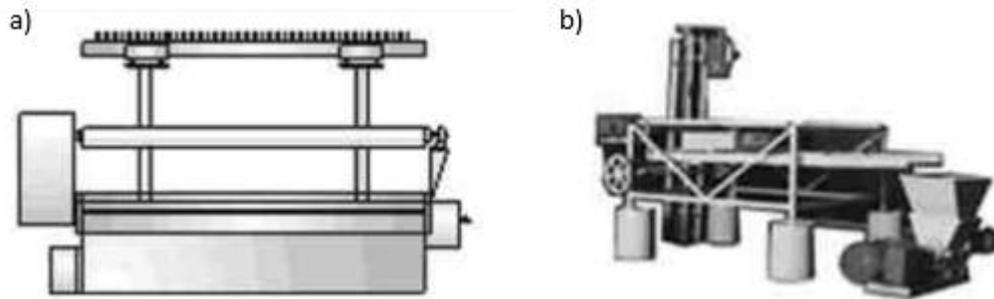
Figura 3 - Peneira estática para o tratamento preliminar dos dejetos suínos.



Fonte: EMBRAPA, 2003.

Devido ao maior fluxo de dejetos produzidos diariamente nas UPS (Unidade Produtora de Suínos) de médio e grande porte, o sistema de peneiramento difere do sistema utilizado para UPS de pequeno porte quanto a capacidade de processamento. Desta forma, recomenda-se o uso de peneiras rotativas (a) ou peneiras-prensa (b) que possuem uma capacidade de processar até 100 m<sup>3</sup>/h de dejetos. Esse dimensionamento deve ser realizado de acordo com o volume produzido e a capacidade de implantação deste (EMBRAPA, 2003). A Figura 4 (a) e (b) mostram o sistema descrito acima.

Figura 4 (a) e (b) - Peneiras dinâmicas para o tratamento preliminar dos dejetos suínos.



Fonte: EMBRAPA, 2003.

#### 4.3.1.3. Decantação

A decantação pode ser considerada uma etapa muito importante do processo de tratamento de dejetos de suínos, cuja função é de separar a fase líquida da fase sólida pela ação da gravidade.

Os decantadores de palhetas são considerados os mais eficientes e adequados para produtores de pequeno e médio porte, pois possuem um valor mais acessível e facilidade de implantação e operação. Uma das desvantagens está na mão-de-obra operacional para a drenagem do lodo e no controle do volume alimentado por hora (PERDOMO; COSTA; MEDRI; MIRANDA, 1999).

Segundo Oliveira (1993), a velocidade de sedimentação é considerada uma questão muito delicada em termos de projetos. Nesse tipo de decantador, a produção de lodo representa de 10 a 15% do volume total de efluentes, considerando sua remoção em até dois dias de intervalo. Contudo, esse sistema exige esterqueiras (tanques) para armazenamento e sua estabilização, com tempo de retenção de aproximadamente 120 dias. Só assim, poderá ser utilizado como fertilizante na agricultura. Com esse sistema, a concentração de NPK é 30% mais elevada do que os presentes nos dejetos brutos.

O decantador de palhetas pode ser dimensionado utilizando a Equação (1) proposta por OLIVEIRA (1993).

$$A = \frac{Q}{V_s} \quad (1)$$

Onde:

A = área do tanque (m<sup>2</sup>);

Q = vazão do efluente (m<sup>3</sup>/h);

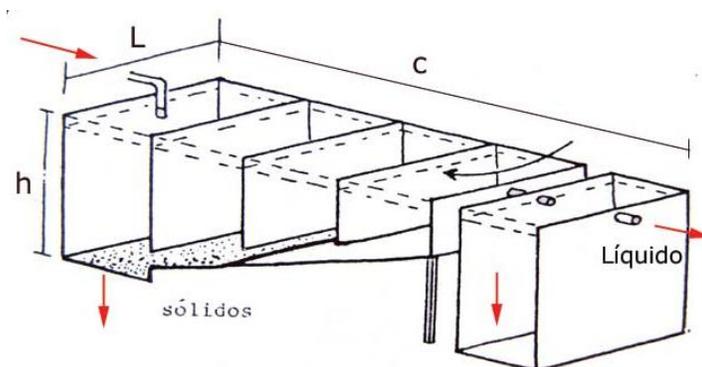
V<sub>s</sub> = velocidade de sedimentação (m/h).

A área do decantador será a razão da vazão de efluente produzido diariamente por um sistema de criação de suínos, pela velocidade de sedimentação que varia de 0,1 a 0,3 m/h. Para a profundidade do decantador, deve ser superior a 1 metro. O comprimento (C) e a largura (L) obedecerão a seguinte relação de acordo a Equação (2):

$$L = 0,3 \cdot C \quad (2)$$

A Figura 5 traz um modelo de decantador de palhetas utilizado para o tratamento preliminar dos dejetos suínos.

Figura 5 - Decantador de palhetas - Croqui.



Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA, 1993).

#### 4.3.1.4. Centrifugação

A operação de separação de partículas por meio da centrifugação ocorre através da força gravitacional que age no centro de massa de cada partícula presente suspenso nos dejetos. As centrífugas podem ser horizontais, cilindro rotativo ou cônico com diferentes velocidades.

Oliveira (1993) cita que existe uma relação de comprimento e diâmetro (c/d) do cilindro que define a sua eficiência de operação. Centrífugas que operam em alta rotação e possuem a relação c/d maior que 2 são usualmente adotadas para a separação de sólidos altamente dispersos e com baixa concentração. Já as centrífugas de média rotação e relação c/d menor que 2 são empregadas na separação de líquidos com altas concentrações de sólidos.

#### 4.3.1.5. Equalizador

Com o objetivo de homogeneizar os dejetos suínos provenientes do processo anterior e regular a vazão horária destes, o equalizador pode ser construído no formato retangular e com o fundo em formato de “V” em alvenaria ou revestido com material impermeabilizante. O lodo depositado na parte inferior do equalizador pode ser encaminhado para a compostagem. O volume total utilizado para este processo é obtido através da Equação (3) abaixo. O processo citado pode ser visto na Figura 6 (EMBRAPA, 2004; EMBRAPA, 2003):

$$V_{est} = (V_{dej} \cdot ta) + V_{seg} \quad (3)$$

Onde:

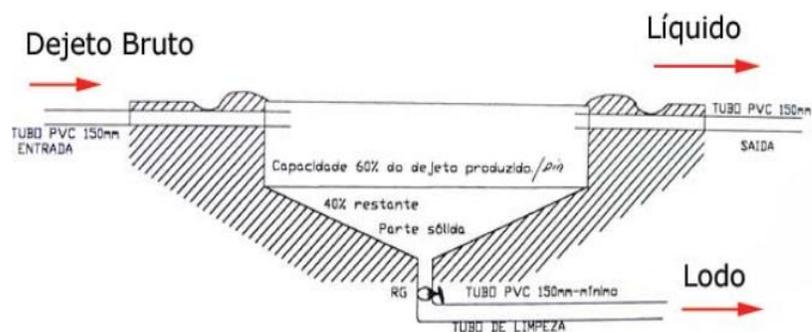
$V_{est}$  = volume estimado para lagoa (m<sup>3</sup>);

$V_{dej}$  = volume de dejetos produzido diariamente (m<sup>3</sup>/dia);

$V_{seg}$  = volume de segurança estimado para a lagoa (m<sup>3</sup>);

$ta$  = tempo de armazenamento (mínimo de 1 dia).

Figura 6 - Equalizador de vazão para o tratamento preliminar dos dejetos suínos.



Fonte: EMBRAPA, 2003.

#### 4.3.2. Tratamento químico

Diversos produtos químicos podem ser utilizados para a separação de fases dos dejetos. Este processo se faz semelhante aos utilizados para o tratamento de dejetos domésticos. Desta forma, sua finalidade é precipitar o material coloidal e conseqüentemente, reduzir a demanda de oxigênio do efluente. Sua utilização visa a remoção de compostos inorgânicos solúveis, semelhantes aos fosfatos, que por sua vez, são removidos através da formação de precipitados insolúveis. Agentes como o sulfato de alumínio, sais de ferro, hidróxido de cálcio ou óxido de cálcio são alguns exemplos (OLIVEIRA, 1993).

O uso da precipitação através de produtos químicos se justifica pela remoção do fósforo nos dejetos animais, quando estes não são aproveitados na fertilização dos solos ou quando se procede a separação de fases, utilizando-se parte como fertilizantes (fase sólida) e trata-se a fase líquida para a liberação em corpo d'água de superfície (OLIVEIRA, 1993).

#### 4.3.3. Tratamento biológico

O tratamento biológico compõe uma das fases mais importantes do processo de tratamento de dejetos suínos. Considerado uma das alternativas mais econômicas e eficientes para o tratamento de dejetos suínos, possuindo grande capacidade de

degradação da matéria orgânica do efluente biodegradável. Durante esse processo ocorre a ação de agentes biológicos como bactérias, protozoários e algas. Esse tratamento pode ocorrer em processos aeróbios ou anaeróbios (TERA, 2013).

#### **4.3.3.1. Tratamento aeróbico**

No tratamento aeróbio ocorre a proliferação de micro-organismos aeróbios, que na presença de condições favoráveis, oxidam compostos orgânicos, quebrando compostos de moléculas complexas, transformando-os em compostos de moléculas mais simples e consideradas estáveis ao processo. Estes micro-organismos também são um dos responsáveis pela formação de flocos e a estabilização da matéria orgânica, através da adsorção e oxidação biológica do material em suspensão dissolvido (PIRES, 1999).

Através da atividade dos micro-organismos fotossintetizantes, ocorre a produção do oxigênio utilizado pelos micro-organismos aeróbios durante o processo. Além disso, também são capazes de aproveitar o oxigênio através do contato direto com o ar atmosférico ou meios artificiais. O oxigênio também pode servir como acceptor final de elétrons e a energia advinda a oxidação dos compostos presentes nos substratos, são armazenadas em ligações químicas, que serão utilizadas pelos micro-organismos posteriormente (PIRES, 1999).

Os dejetos com características sólidas são passíveis de se realizar o processo por meio de compostagem, já os dejetos líquidos podem ser tratados executando os processos em lagoas de estabilização (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015).

No processo de decomposição aeróbia do resíduo sólido, a compostagem alia ação e interação dos micro-organismos às condições favoráveis de temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos existente, concentrações e tipos de nutrientes disponíveis, relação entre as quantidades de carbono e nitrogênio (C/N), fatores estes diretamente ligados à qualidade e velocidade da decomposição. Micro e macro-organismos também são importantes na produção de compostos como

cogumelos, cupins, formigas, centopeias, lacraias, aranhas, besouros, minhocas, entre outros (OLIVEIRA, 1993).

#### **4.3.3.1.1. Lagoas de estabilização**

Em relação ao tratamento de resíduos líquidos (efluentes), os usos de lagoas de estabilização são empregadas. Basicamente consideradas como bacias terrestres, as lagoas de estabilização são reservatórios escavados, nos quais as águas residuárias brutas são submetidas a processos de degradações naturais físicos, biológicos e bioquímicos, conhecidos como autodepuração ou estabilização (DALAVÉQUIA, 2000).

Estas lagoas podem ser classificadas de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica, as lagoas de estabilização podem ser classificadas em anaeróbias, facultativas e aeróbias ou de maturação, podendo ser distribuídas em diferentes números e combinações para que se possa alcançar os resultados desejados para o tratamento (COUTINHO, 2001).

A ação dos processos naturais que atuam sob condições parcialmente controladas, são responsáveis pela transformação dos compostos orgânicos em compostos minerais ou orgânicos estáveis e também favorece o crescimento de micro-organismos que são capazes de acidificar e aumentar a temperatura do meio em tratamento promovendo a inibição e destruição dos micro-organismos patogênicos, através da oxidação bacteriológica aeróbia ou da fermentação anaeróbia, redução fotossintética de algas e também pela radiação solar (DALAVÉQUIA, 2000).

#### **4.3.3.1.2 Lagoas de aguapé**

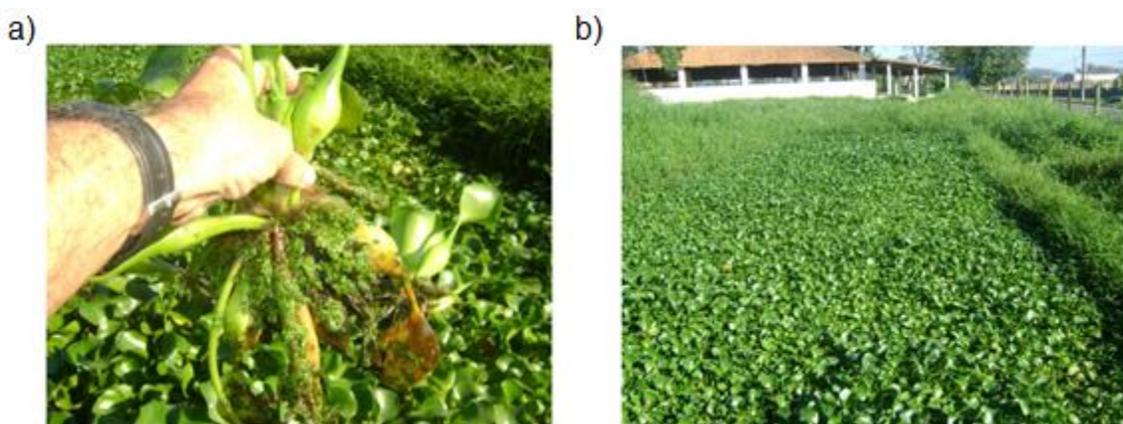
O aguapé (*Eichornia Crassipes*) tem sua ação despoluidora através dos mecanismos da ação filtrante por suas raízes que possibilitam a retenção do material particulado em suspensão, além da absorção de metais pesados como prata, chumbo, mercúrio, entre outros. A oxigenação através do seu metabolismo, transfere o oxigênio do ar para o corpo hídrico, oxigenando a massa de água. Finalizado pela ação

bioquímica, absorve nitrogênio e fósforo, além da biodegradação de micro-organismos como os coliformes fecais (BAVARESCO, 1998; MEES, 2006).

De encontro ao sistema de tratamento, a dificuldade de remoção e destino final para as plantas de aguapés pode ser considerada um problema para o sistema. A remoção do excesso de plantas se faz necessário, visando a renovação da massa vegetal em desenvolvimento proporcionada pelo crescimento exponencial que otimiza o tratamento. Alternativas para o processamento e a destinação final dos aguapés vem sendo aprimoradas com relação ao uso em compostagens, digestão anaeróbia para a produção de metano, produção de etanol, produção de papel (BAVARESCO, 1998).

A Figura 7 ilustra a aplicação da lagoa de aguapé para o tratamento de dejetos suínos da Unidade de Ensino e Produção Nilo Peçanha do Instituto Federal do Rio de Janeiro, Pinheiral/RJ.

Figura 7 (a) e (b) - Aguapé (*Eichornia Crassipes*) na aplicação em lagoas na Unidade de Ensino e Produção Nilo Peçanha - IFRJ.



Fonte: JORGE, 2013.

Complementando o sistema de tratamento, as lagoas de aguapé podem ser consideradas uma boa opção para remoção de nutrientes como o nitrogênio e fósforo. Sendo dimensionada de maneira semelhante às lagoas facultativas também requerem

profundidade próximas de 1 m. Seu dimensionamento também se dá pela Equação (4) (DARTORA *et al.*, 1998; EMBRAPA, 2004).

$$V_{est} = (V_{dej} \cdot ta) + V_{seg} \quad (4)$$

Onde:

$V_{est}$  = volume estimado para lagoa ( $m^3$ );

$V_{dej}$  = volume de dejetos produzido diariamente ( $m^3/dia$ );

$V_{seg}$  = volume de segurança estimado para a lagoa ( $m^3$ );

$ta$  = tempo de armazenamento (15 dias).

De acordo com EMBRAPA (2004) recomenda-se que as instalações destinadas ao tratamento de dejetos suínos devem ser mantidas isoladas com barreiras físicas como telas de alambrados para evitar possíveis acidentes. Todas as instalações escavadas Figura 8 que receberão dejetos para tratamento devem ser revestidas com material impermeabilizante, para que desta forma, impossibilite a contaminação de solo com dejetos de suínos.

Figura 8 – Impermeabilização de lagoas para tratamento de dejetos suínos com membrana de Polietileno de Alta Densidade (PEAD).



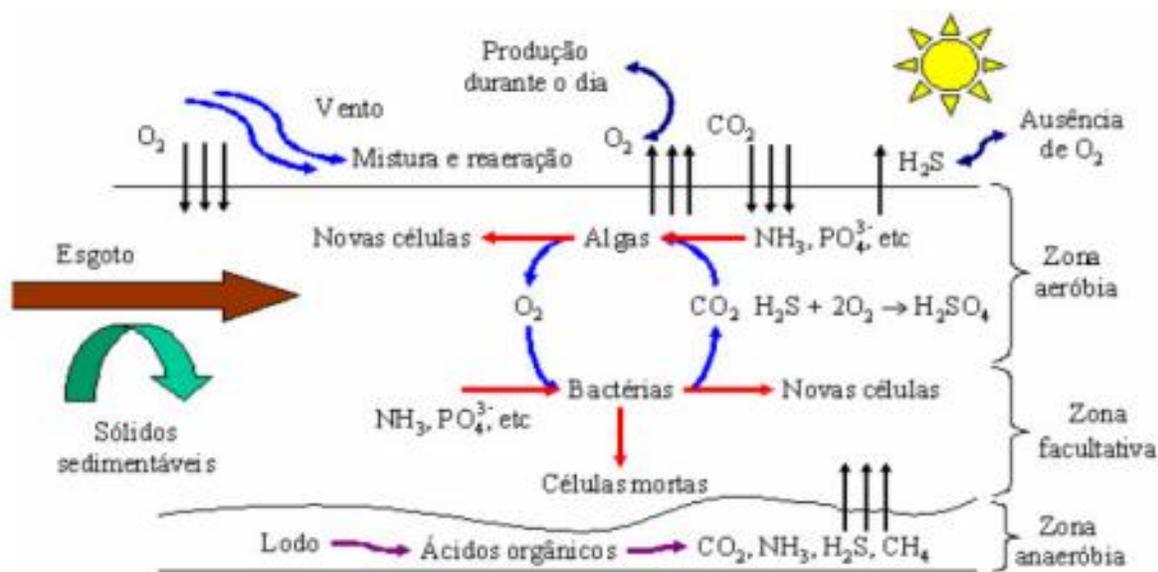
Fonte: Geomenbrana Geossintéticos.

#### 4.3.3.1.2 Lagoas facultativas

As lagoas facultativas são as mais comuns das lagoas de estabilização. Operam com cargas orgânicas menores do que as utilizadas nas lagoas anaeróbias, permitindo assim, um desenvolvimento de algas nas camadas mais superficiais e iluminadas. Através da atividade fotossintética, as algas oxigenam a massa líquida presente na lagoa, modificando o pH e consumindo nutrientes orgânicos (COUTINHO, 2001).

Segundo Oliveira (1993), as reações que ocorrem no interior de uma lagoa facultativa, estabelecem um círculo vicioso em que a matéria orgânica sintetizada pelas algas, liberam oxigênio para o meio ambiente e, as bactérias, ao degradar a matéria orgânica presente nos dejetos utilizam desse oxigênio para seu processo respiratório, que por sua vez, liberam gás carbônico necessário para a realização da fotossíntese. A Figura 9 apresenta as diferentes regiões da lagoa facultativa em relação ao tipo de metabolismo predominante, juntamente com o ciclo metabólico de micro-organismos fotossintetizantes.

Figura 9 - Zonas de reações biológicas de uma lagoa facultativa.



Fonte: OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006.

Um sistema de agitação mecanizado pode ser empregado para induzir a oxigenação diretamente na superfície da lagoa. No tratamento biológico, o sistema aeróbio cria uma turbulência que promove a suspensão dos sólidos presentes nos dejetos minimizando a formação de lodo nas regiões mais profundas das lagoas. A redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) nas lagoas aeradas possuem valores acima de 60% e o tempo de retenção varia de 2 a 10 dias, minimizando a formação de algas durante o processo (OLIVEIRA, 1993).

Segundo Coutinho (2001), as lagoas aeróbias possuem a característica de melhorar a qualidade do efluente pré-tratado, através, da redução de organismos patogênicos como as bactérias, vírus, ovos de invertebrados e outros, e, redução de nitrogênio e fósforo presentes nos dejetos tratados.

Dependendo das condições ambientais e das características do dejetos a ser tratado, as lagoas facultativas necessitam de uma profundidade adequada para seu funcionamento. Profundidades inferiores a 1 m podem ocorrer a emergência de vegetação e superiores a 1,5 m são utilizadas em regiões de clima mais frios (OLIVEIRA, 1993).

Adaptada por Oliveira (1993), o volume necessário para as lagoas facultativas pode ser dimensionado pela Equação (5) abaixo.

$$V = (3,5 \times 10^{-5}) \cdot N \cdot q \cdot Lu \cdot R^{(35-TM)} \quad (5)$$

Onde:

V = volume da lagoa (m<sup>3</sup>);

N = número de animais;

q = quantidade de dejetos por animal por dia (L/dia/animal);

Lu = valor máximo de DBO do dejetos (mg/L);

R = coeficiente de temperatura de reação (1,085);

TM = temperatura média da água do mês mais frio.

### 4.3.3.2. Tratamento anaeróbio

Empregado normalmente com um processo primário de tratamento de dejetos suínos, o tratamento anaeróbio preconiza a estabilização da carga orgânica presente nos dejetos que envolve, principalmente, a participação de micro-organismos facultativos e estritamente anaeróbios (PIRES, 1999; OLIVEIRA, 1993).

#### 4.3.3.2.1. Lagoas anaeróbias

Caracterizada pelas quantidades reduzidas de oxigênio dissolvido em meio aquoso decorrentes da alta concentração de sólidos em suspensão, as lagoas anaeróbias decorrem em processos sequenciais envolvendo metabolismos de um complexo de micro-organismos que realizam a hidrólise de materiais complexos em compostos simplificados, conversão de compostos orgânico em solúveis em ácidos orgânicos e a fermentação metanogênica em si através dos produtos da etapa anterior, além da produção de gás carbônico. Podendo ser descritas como um processo de decomposição da matéria orgânica, o odor desagradável pode ser considerado um dos principais critérios para a aceitação ou rejeição deste sistema. (BAVARESCO, 1998).

Sem o devido dimensionamento, acidentes com transbordamentos de lagoas decorrentes de precipitações são frequentes em sistemas de produção intensiva de suínos. Para a determinação do volume de uma lagoa anaeróbia é recomendado pela EMBRAPA (2004) a seguinte equação (6).

$$V_{est} = (V_{dej} \cdot ta) + V_{seg} \quad (6)$$

Onde:

$V_{est}$  = volume estimado para lagoa ( $m^3$ );

$V_{dej}$  = volume de dejetos produzido diariamente ( $m^3$ /dia);

$V_{seg}$  = volume de segurança estimado para a lagoa ( $m^3$ );

$ta$  = tempo de armazenamento (120 dias).

A equação (6) acima descrita, apresenta um método de simples prospecção para a determinação do volume adequado para lagoas anaeróbias. Desta forma, o volume estimado é diretamente proporcional ao volume de dejetos produzidos diariamente, ao volume de segurança que deve ser levado em consideração a série histórica pluviométrica da região onde será implantado o sistema de tratamento de dejetos suínos, e o tempo de armazenamento de 120 dias proposto por IMA (2009).

Para as lagoas anaeróbias, a profundidade útil deve estar em torno de 2,2 m para que possa garantir as condições de anaerobiose necessária para o desenvolvimento de micro-organismos atuantes nesse processo e a relação de comprimento e largura de 2 a 3:1 (DARTORA *et al.*, 1998).

#### **4.3.3.2.2. Digestão anaeróbia - Biodigestor**

Impulsionada na década de 70 e 80 no Brasil, a técnica da biodigestão anaeróbia por meio de biodigestores para estabilização de diferentes substratos foi muito utilizada. Na década de 90 teve uma redução em sua aplicação por descrédito, devido à ausência de conhecimentos e acompanhamentos técnicos que reduziam a eficiência do processo. No final desta década, tornou a ganhar força e espaço como uma alternativa para agregação de valor ao dejetos suíno na forma de biofertilizante e em seguida com o biogás (KUNZ *et al.*, 2005a).

Considerado um processo contínuo devido ao recebimento diário de dejetos de suínos, os biodigestores, após a metabolização dos micro-organismos, descarregam o material digerido em local apropriado por gravidade. Desta forma, a biomassa do biodigestor é movimentada pela diferença da pressão hidráulica no interior do biodigestor, no momento da carga. Em função das temperaturas ambientes e da biomassa, o tempo de retenção hidráulica pode variar de 30 a 50 dias (EMBRAPA, 2004).

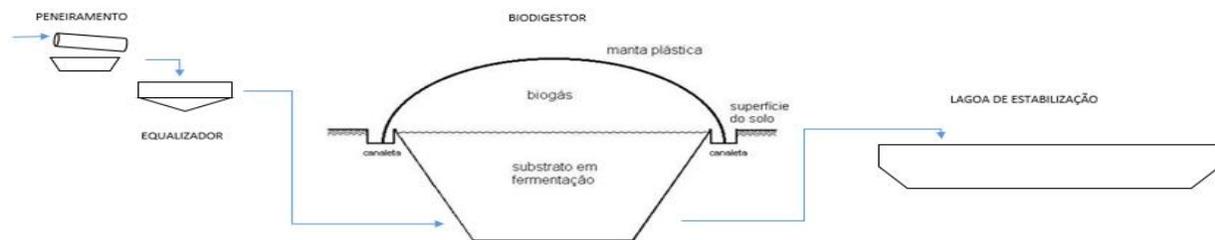
Devido ao volume de dejetos gerados em uma UPS de médio e grande porte, biodigestores do modelo tubular ou canadense são os mais utilizados para esta finalidade. Construído de forma simples com grandes extensões e baixas profundidades para que haja maior interferência da radiação solar promovendo o aquecimento natural

do sistema. Os biodigestores possuem os tanques escavados e revestidos com materiais impermeabilizantes como as membranas de polietileno de alta densidade (PEAD) que possuem grande durabilidade na sua utilização. O gasômetro, local destinado para o armazenamento do biogás produzido pelo processo, é utilizado uma manta flexível de policloreto de vinil (PVC) que vai inflando à medida que o biogás é produzido (MEYER *et al.*, 2017).

O efluente gerado pelo biodigestor, conhecido por biofertilizante, ainda não pode ser descartado em corpos d'água, por possuir alto potencial poluidor do ecossistema. Com isso, deve ser armazenado em uma lagoa de estabilização onde seu processo foi descrito no item 4.3.3.1.1 (KUNZ *et al.*, 2005b).

Em decorrência da alta geração de dejetos suínos provenientes da criação em sistemas intensivos de confinamentos das UPS de médio e grande porte, a utilização do biofertilizante produzido pelo processo de digestão anaeróbia pode ser utilizada em solos agricultáveis como uma alternativa de fertilizante para culturas anuais de inverno e verão, pastagens e forragens, culturas perenes e silvicultura. Desta forma, a utilização dos dejetos suínos numa UPS promove o desenvolvimento sustentável de sistemas integrados produtivos, diversificando fontes de renda para uma maior estabilidade social e econômica (DIESEL *et al.*, 2002). A Figura 10 abaixo demonstra o modelo esquemático do processo descrito para o tratamento de dejetos suínos através de biodigestores.

Figura 10 - Sistema de tratamento de dejetos líquidos de suínos via digestão anaeróbia.



Fonte: adaptado de FILHO *et al.* (2001).

Sendo uma alternativa tecnológica para o tratamento de dejetos suínos, a utilização de biodigestores permite a agregação de valores aos resíduos mediante a utilização do biogás em sistemas de geração de energia. Mesmo com anos de pesquisas e inovações, o sistema apresenta grande sensibilidade na operação, ocasionando algumas limitações nos aspectos microbiológicos básicos que visam a eficiência do processo (KUNZ *et al.*, 2005b).

A digestão anaeróbia, também conhecida como biometanização, ocorre em um processo onde um complexo de cultura mista de micro-organismos são capazes de metabolizar materiais orgânicos como carboidratos, lipídeos e proteínas, produzindo metano, dióxido de carbono e material celular (EMBRAPA, 2004).

As reações bioquímicas que ocorrem na digestão anaeróbia envolvem diversos micro-organismos que atuam em quatro etapas distintas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, além de uma outra etapa, a sulfetogênese, que ocorre simultaneamente ao processo na redução de sulfetos (LIMA, 2020).

A hidrólise é a primeira etapa da digestão anaeróbia, também é considerada a fase sólida do processo. Nesta etapa, as enzimas hidrolíticas extracelulares presentes nas moléculas complexas de substratos solúveis, hidrolisam em moléculas menores para que possam ser transportadas para o interior nas células dos micro-organismos e assim, serem metabolizadas (LIMA, 2020; EMBRAPA, 2004).

Os micro-organismos acidogênicos que atuam nesta etapa, metabolizam os produtos da etapa anterior em uma fermentação ácida transformando-os em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, isobutírico, fórmico) além de hidrogênio, dióxido de carbono e produção de novas células (LIMA, 2020; EMBRAPA, 2004).

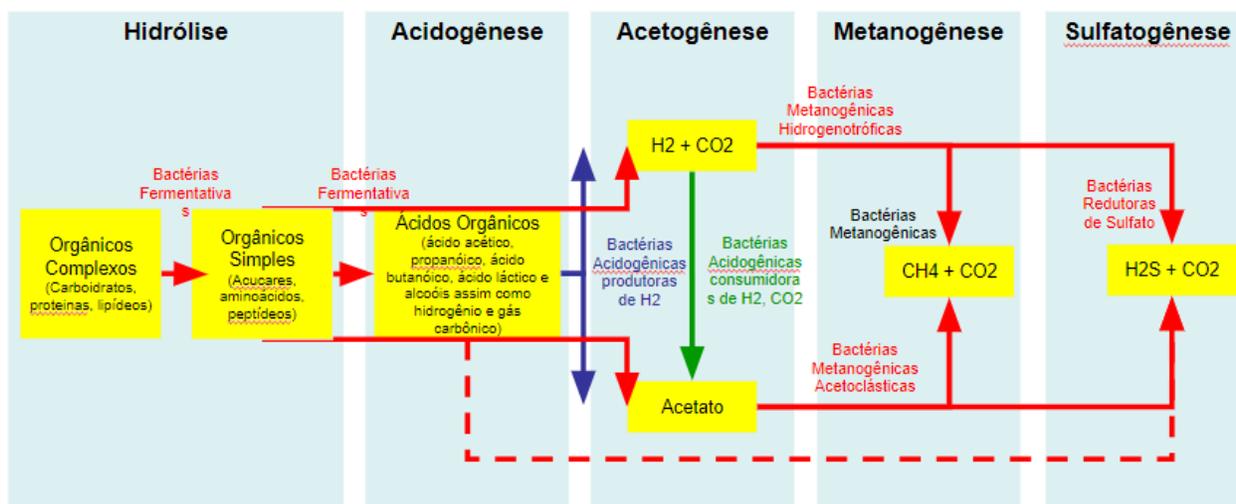
Na etapa acetogênica, que pode ser considerada como uma etapa líquida do processo de digestão anaeróbia, ocorre a oxidação das substâncias geradas na etapa anterior por micro-organismos sintróficos acetogênicos produzindo e consumindo hidrogênio e dióxido de carbono para a formação do acetato (LIMA, 2020; EMBRAPA, 2004).

A etapa da metanogênese, correspondente pela última fase da biometanização da matéria orgânica, é considerada como a etapa gasosa do processo. Desta forma, as bactérias arqueas (metano acetoclásticas e metano hidrogenotróficas) presentes no substrato consomem os produtos da etapa anterior (hidrogênio, dióxido de carbono e o acetato) como fonte de energia para seu metabolismo, produzindo o dióxido de carbono e metano (LIMA, 2020; EMBRAPA, 2004).

Na sulfetogênese ocorre o processo de redução do sulfato pelas bactérias redutoras. Nesta etapa, há concorrência com os micro-organismos da metanogênese para o consumo de acetato e hidrogênio, contribuindo para a diminuição da produção de metano (LIMA, 2020; EMBRAPA, 2004).

As etapas da produção de biogás em um biodigestor podem ser acompanhadas na Figura 11.

Figura 11 - Etapas da digestão anaeróbica.



Fonte: Portal do Biogás.

#### 4.4. Cenário atual para o tratamento de dejetos suínos

Com os maiores rebanhos suínos do Brasil, os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná lideram o *ranking* com metade da produção nacional de suínos. Desta forma, um maior número de pesquisas relacionadas à suinocultura e tratamento de dejetos se desenvolvem nesta região. A EMBRAPA Suínos e Aves instalada no município de Concórdia, Santa Catarina, contribui fortemente para o desenvolvimento de pesquisas e publicações voltadas para a suinocultura nacional (NOTÍCIAS AGRÍCOLAS, 2020; EMBRAPA, 2003).

Considerando que a maioria das propriedades suinícolas do sul do Brasil são de pequeno e médio porte e mantêm sua atividade em sistemas de integração com grandes empresas alimentícias, cooperativas de criadores, entre outras. O sistema de produção mais utilizado é o de criação intensiva em confinamento, em que os animais são classificados e mantidos separados por categorias referentes ao estágio de criação (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015).

Como grande região produtora de suínos e complexo agroindustrial, o estado de Santa Catarina caracteriza-se pela produção por pequenas propriedades, onde 95,3% das propriedades possuem até 50 ha, cuja predominância da mão-de-obra é proveniente da agricultura familiar (KUNZ *et al.*, 2005b).

Segundo Filho *et al.* (2001), os modelos conhecidos com esterqueira e bioesterqueiras são os dois modelos mais utilizados em Santa Catarina para a armazenagem dos dejetos de suínos. Pois possuem a função de armazenar os dejetos antes da aplicação no solo, preservando o potencial de fertilização deste produto. No entanto, o tempo de retenção hidráulica recomendado para a estabilização da matéria orgânica e inativação de patógenos é de aproximadamente 120 dias (KUNZ *et al.*, 2005b).

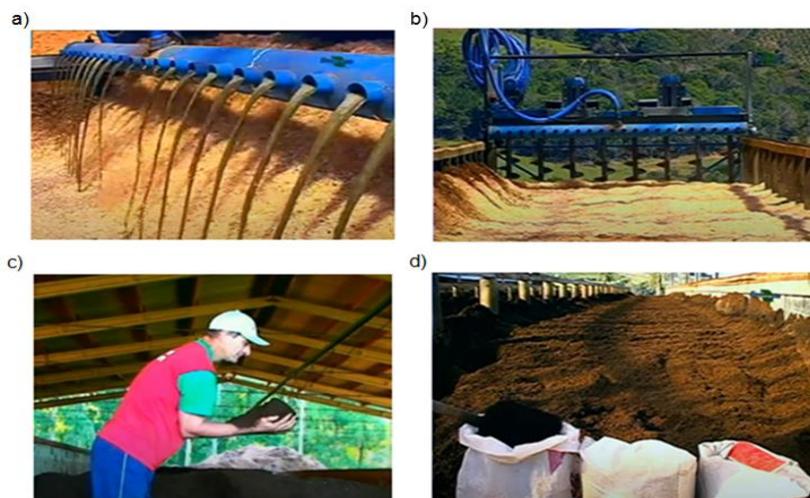
Demonstrado por Filho (2001), o sistema constituído por lagoas naturais, onde os resultados indicam potencial significativo para a aplicação desta tecnologia para o tratamento de dejetos suínos na região sul do Brasil. No entanto, neste estudo, Filho

(2001) também enfatiza a necessidade da otimização dos parâmetros dos projetos, a fim de reduzir e adequar as dimensões das lagoas, possibilitando garantir o desempenho hidrodinâmico nas UPS.

De acordo com o pesquisador da EMBRAPA Suínos e Aves de Concórdia/SC, Paulo Armando de Victória Oliveira, na reportagem “Dia de Campo na TV”, publicado em 13/01/2015 e acessado pelo link (<https://www.youtube.com/watch?v=Clbfb3-srTo>), o sistema de compostagem de dejetos líquidos de suínos visando a produção de adubos orgânicos, apresenta resultados satisfatórios quando aplicados em regiões de pequenas propriedade rurais com alta concentração populacional de suínos e poucas áreas agricultáveis disponíveis, desde que haja o devido dimensionamento em relação ao volume de dejetos suínos produzidos.

A Figura 12 ilustra o sistema de compostagem proposto pela EMBRAPA Suínos e Aves de Concórdia implantado na propriedade de Evaristo Tófoli, criador de suínos com plantel de 400 matrizes no município de Seara/SC, evidenciando o sistema de distribuição dos dejetos líquidos sobre o leito de substrato, mecanismo de homogeneização e aeração, e por fim, o composto finalizado sendo embalado para o armazenamento e posterior comercialização. Em (a), o dejetos bombeado para o equipamento proposto pela EMBRAPA Suínos e Aves, realiza a distribuição homogênea dos dejetos líquidos sobre a cama de substrato. Em (b), as roscas helicoidais realizam a homogeneização do substrato com o dejetos líquido além de promover a aeração adequada para o bom desempenho do processo. Em (c), evidencia a ausência de maus odores presentes nas etapas antecessoras do início do processo de compostagem. Por fim, em (d), finalizado o processo de compostagem, o composto pode ser embalado para o armazenamento e futura distribuição em solos agricultáveis e/ou possível comercialização somando mais um *output* da suinocultura.

Figura 12 - Sistema de compostagem proposto pela EMBRAPA Suínos e Aves, implantado em suinocultura catarinense. a) duto de distribuição de dejetos líquidos de suínos; b) deslocamento do equipamento para homogeneização e aeração da compostagem; c) Evaristo Tófoli evidenciando a ausência de maus odores; d) Embalagem para armazenamento e/ou comercialização.



Fonte: SCHERER (2015).

Esse sistema de tratamento visa remover até 95% da umidade, convertendo em uma matriz sólida agregada a um substrato (palha de arroz, serragem, maravalha), alcançando relações superiores a 8 litros de dejetos para cada quilograma substrato. Após o processo de compostagem ser concluído, devido a seu valor agrônômico agregado na forma de fertilizantes, pode ser aplicado em solos agricultáveis e/ou comercializados, reduzindo os custos de produção com fertilizantes além da geração alternativa de renda do suinocultor (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

O processo de compostagem pode ser realizado de diferentes maneiras de acordo com a necessidade da UPS. Os modelos de unidades de compostagem, vão das mais simples até as automatizadas de acordo com processo implantado. Modelos mais sofisticados podem ser utilizados em UPS de médio e grande porte de acordo com o volume de dejetos gerados ou que tenham como interesse a comercialização do fertilizante orgânico gerado após o processo de compostagem, como apresentado na

Figura 13. Pequenas UPS, usualmente utilizam de estruturas mais simplificadas e de fácil operação como as montadas em leiras a céu aberto Figura 14 ou as de compartimentos em ambientes protegidos Figura 15 (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

Figura 13 - Sistema de revolvimento da compostagem com pás rotativas e Helicóides.



Fonte: Foto, Paulo A. V. de Oliveira/EMBRAPA

A Figura 14 mostra o processo de compostagem sendo realizado em leiras devido ao seu grande volume produzido. Neste sistema se faz necessário o uso de maquinário para o revolvimento e incorporação da compostagem (MÁQUINA SOLO, 2020).

Figura 14 - Revolvimento e incorporação da compostagem por implemento acoplado ao trator.



Fonte: MÁQUINA SOLO, 2020.

Estruturas com cobertura de filme PVC (policloreto de vinil) transparentes promovem o aumento de temperatura interna favorecendo a evaporação da água presente na compostagem e o aumento da temperatura do processo, além da redução dos custos com instalações para realização do processo. No entanto, a disponibilidade de água está diretamente relacionada ao suprimento de oxigênio presente no composto, afetando a atividade microbiana. Desta forma, valores baixos de umidade podem ocasionar a desidratação do interior da pilha de compostagem, inibindo o processo biológico, favorecendo a estabilidade física, no entanto, gerando uma instabilidade biológica. Para tudo, condições de umidade elevada, podem gerar condições de anaerobiose do processo no interior da pilha, minimizando a eficiência do processo (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

A vista geral da unidade experimental de compostagem de compartimentos da Embrapa Suínos e Aves em Concórdia/SC é mostrada na Figura 15.

Figura 15 - Compostagem produzida em ambiente protegido. (a) vista externa da estrutura para a condução do processo de compostagem de dejetos suínos; (b) baias para deposição dos dejetos líquidos de suínos sobre o leito de substrato.

a)



b)



Fonte: OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006.

Em estudo de caso realizado em três países da Europa (Itália, Espanha e Dinamarca) em áreas caracterizadas pelo excesso de nitrogênio no solo, foi avaliado o processo de tratamento de dejetos suínos em oito plantas de tratamento, sendo quatro delas *on farm* e quatro centralizadas. Os processos de tratamento envolveram tratamentos físicos (separação mecânica e pasteurização), tratamentos químicos (coagulantes e floculantes) e tratamento biológico (digestão anaeróbia e compostagem). Os resultados obtidos após seis meses de estudo apontaram desempenhos significativos para a diminuição de patógenos como *E. coli* e *Salmonella*, diminuição de gases de efeito estufa em até 90%, diminuição do conteúdo orgânico e sólidos totais dos efluentes, e por fim, a redução de até 85% da concentração de nitrogênio em relação ao cenário controle onde não havia tratamento dos dejetos (GARCIA-GONZALES *et al.*, 2016).

Um estudo realizado para a avaliação do potencial gerador de dejetos e sua aplicação no tratamento de digestão anaeróbia (biodigestor) foi realizado na cidade de Toledo/MG em quatro propriedades de agricultura familiar. Neste estudo, questões ligadas às características sanitárias, recursos energéticos, produção de resíduos animais

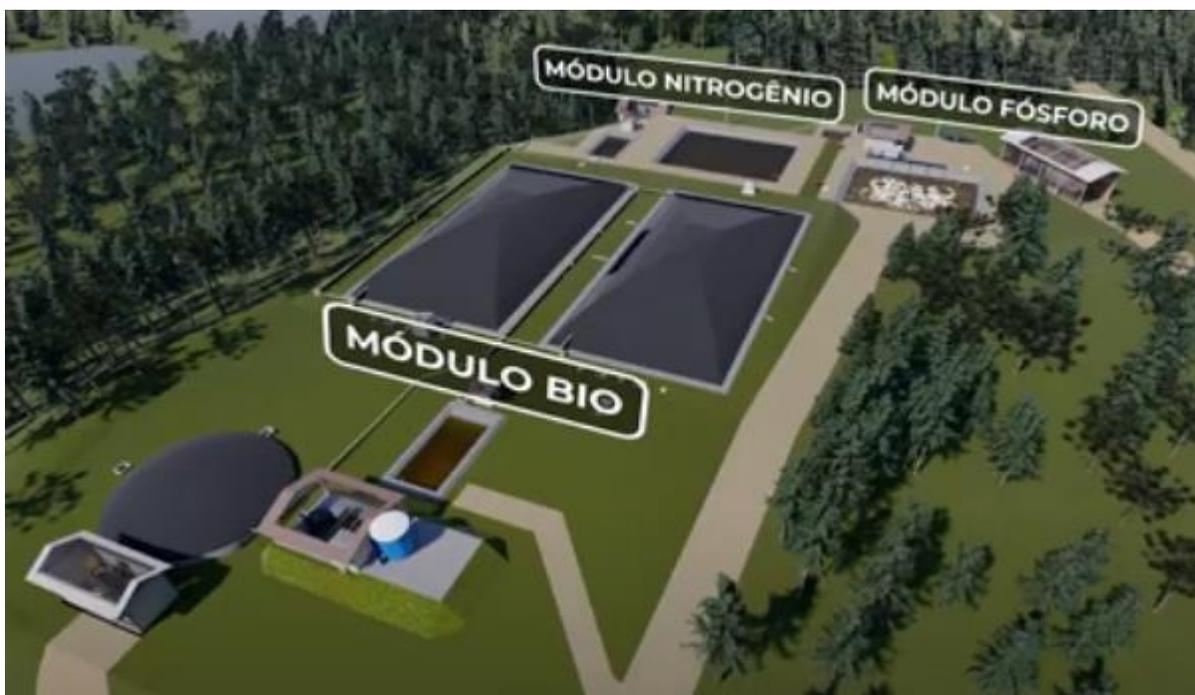
e a intenção de investimento para o biodigestor foram levantadas para caracterizar a viabilidade da construção do sistema de tratamento por biodigestão. Desta forma, o estudo constatou que mesmo com a agregação dos dejetos domésticos ao biodigestor, o volume de dejetos produzidos (doméstico e de animais) não viabiliza a instalação de biodigestores individuais nas propriedades, recomendando a construção de sistemas de captação e distribuição de dejetos domésticos e de animais interligados entre as propriedades, caracterizando um sistema de tratamento de dejetos descentralizado (GAMA; LIMA; AQUINO, 2018).

Com o intuito de avaliar a eficiência do tratamento de dejetos por meio da digestão anaeróbia e de tratamentos físicos e químicos, Arezi (2020), realizou estudos a fim de possibilitar o reaproveitamento do efluente tratado como água de reuso na propriedade rural que produz suínos para abate, localizada na estrada Passo do Corvo, bairro São Caetano, em Arroio do Meio, Rio Grande do Sul. Atualmente, a capacidade de engorda é de 3.000 cabeças, porém existe a perspectiva de crescimento para 10.000 animais. O lodo advindo da biodigestão como fertilizante orgânico agrícola e o biogás como fonte de energia. Após a digestão anaeróbia, testes com dosagens de coagulantes e floculantes foram realizados para a obtenção de um clarificado possível de ser reaproveitado. Desta forma, ao final de seus estudos, de acordo com a metodologia aplicada, o autor evidenciou que os resultados não atendiam às características necessárias para a utilização do clarificado como água de reuso, não houve produção satisfatória de biogás ficando aquém dos valores citados na literatura. No entanto, a utilização de coagulantes e floculantes, evidenciou a redução de 30% do volume do biodigestor quando aplicado em escala real (AREZI, 2020).

O SISTRATES (Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura) moldado pela EMBRAPA Suínos e Aves de Concórdia/SC, visa atender a demanda da produção de dejetos suínos inibindo o lançamento dos dejetos sem o devido tratamento em corpos d'água e no solo, diminuição da produção dos gases de efeito estufa, geração de biogás e fertilizantes concentrados para uso agrônômicos (COSTA, 2019). Constituído de três módulos distintos, ocorre primeiro a eliminação de patógenos e a degradação da matéria orgânica pelo módulo BIO (biodigestores), seguido pela nitrificação e desnitrificação da

fração líquida por micro-organismos específicos no módulo N (lagoas anaeróbias e aeróbias) e por fim, a remoção de fósforo através da adição de hidróxido de cálcio favorecendo a precipitação do fosfato de cálcio sólido no Módulo P (decantadores). O sobrenadante é o efluente final tratado com valores aceitáveis para a reutilização da água como reuso nas instalações da suinocultura e/ou deposição no meio ambiente. O lodo obtido durante todo o processo, com concentrações elevadas de fosfato de cálcio, pode ser utilizado como fertilizante agrícola. O SISTRATES permite obter um alto nível de tratabilidade das águas residuárias da suinocultura, reduzindo a necessidade de áreas agrícolas para a utilização dos efluentes (KUNZ *et al.*, 2019). A Figura 16 ilustra a planta do SISTRATES seus principais módulos de processos para o tratamento de dejetos de suínos.

Figura 16 - Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura (SISTRATES).



Fonte: EMBRAPA Suínos e Aves, 2021.

O Quadro 1 sintetiza as vantagens e desvantagens de cada sistema de tratamento de dejetos suínos, evidenciando fatores econômicos, ambientais, agregadores de valores e sociais (KUNZ *et al.*, 2005b).

Quadro 1 – Comparativo de técnicas, processos e tecnologias utilizadas para o tratamento de dejetos suínos.

| Sistema de Tratamento/Processos | Vantagens   | Desvantagens   | Referência                  |
|---------------------------------|---|--|-----------------------------|
| Esterqueira/Bioesterqueira      | Baixo custo, facilidade de operação, biofertilizante  | Baixa estabilidade dos dejetos, necessidade de áreas para implantação, odor, áreas agricultáveis para distribuição | Filho (2001)                |
| Biodigestores                   | Agregação de valor pela produção de biofertilizante e biogás                                  | Suscetível a mudanças de manejo, temperaturas de operação  | Kunz (2005); Diesel (2002)  |
| Compostagem                     | Fixação de nitrogênio no composto, facilidade de transporte, estocagem, agregação de valor    | Manejo adequado, custos com substratos, ambiente protegido   | Oliveira & Higarashi (2006) |
| Lagoas em série                 | Eficiência significativa no tratamento, baixo custo   | TRH alta, áreas agricultáveis para distribuição, odor  | Oliveira (1993)             |
| SISTRATES                       | Alta eficiência, reuso da água agregação de valor, produção de biogás, recuperação de fósforo | Alto custos de implantação, mão de obra capacitada, custos de operação   | Kunz (2019); Costa (2019)   |

Fonte: Adaptado de KUNZ *et al.* (2005b).

Componente muito importante para que a tecnologia aplicada no tratamento de dejetos suínos tenha plena eficiência em seus processos, a utilização de mão-de-obra especializada e/ou técnica requer a atenção significativa do suinocultor. Onde o acompanhamento e a operacionalização dos parâmetros fundamentais dos processos mitigam as falhas possíveis durante o tratamento. Com o aumento da utilização de tecnologias, legislações ambientais restritivas, a utilização de recursos humanos qualificados busca uma visão sistêmica do processo, permitindo a obtenção de resultados satisfatórios ao final dos processos de tratamentos de dejetos suínos independente do sistema utilizado (KUNZ *et al.*, 2005b).

#### **4.4.1. Ferramentas para a avaliação do impacto ambiental da criação de suínos: DPSIR**

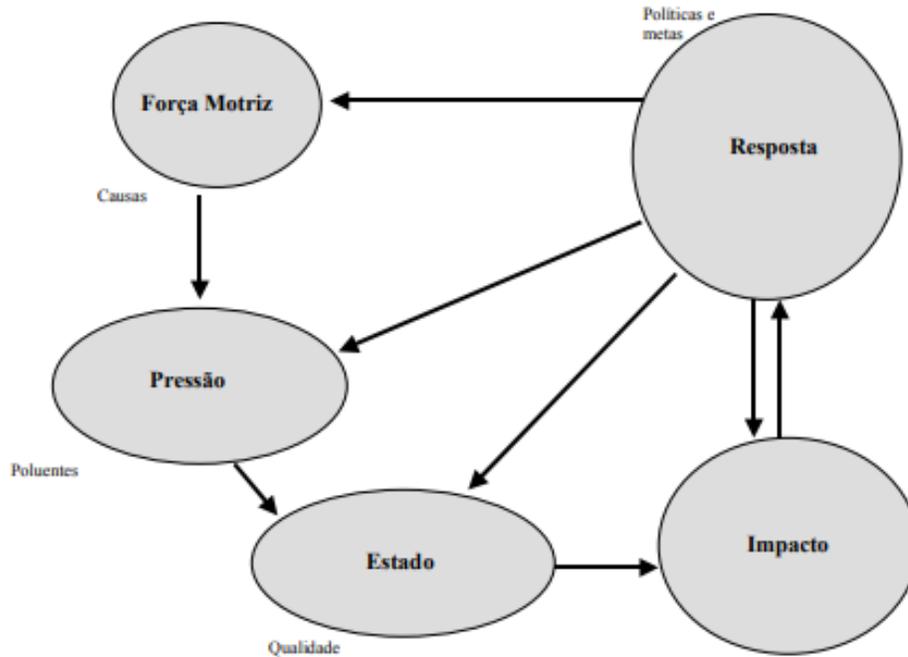
A produção animal intensiva e o meio ambiente expressam uma relação estreita e complexa quando relacionadas à gestão de resíduos, em especial a suinocultura. Os dejetos suínos produzidos podem desencadear fatores de pressões ambientais, degradando a qualidade ambiental e conseqüentemente, afetando os serviços ecossistêmicos (BÜHRING *et al.*, 2020).

A ferramenta de gestão ambiental DPSIR (*Driving Forces, Pressure, State, Impact and Response*), pode ser traduzida livremente para o português como Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta. É um modelo analítico utilizado para diagnósticos das mudanças ambientais em função do tempo, colaborando para o entendimento das relações de causa e efeito entre o homem e o meio ambiente (FARIA, 2011).

Diversas questões apuradas dentro dos eixos da ferramenta de gestão que relacionam as condições e qualidade de vida dos suinocultores, produção de suínos, uso do solo, uso da água e meio ambiente podem ser usadas como componentes e indicadores da ferramenta de gestão DPSIR (BÜHRING *et al.*, 2020).

A ferramenta apresenta um modelo eficaz de representação do circuito de interação ambiental, econômica e social numa perspectiva sustentável. Apoiado em uma forte conexão entre os componentes, esta ferramenta evidencia as ações humanas (forças motrizes), gerando interferências nos ambientes naturais (pressões), modificando as condições normais (estado), e como consequência negativa dessa interferência do homem (impacto), os sistemas tende a reagir (respostas) para uma variação ambiental, tendendo a eliminar as causas ou suas consequências, podendo ser sintetizada na Figura 17. Desta forma, caso as respostas sejam destinadas a minimizar ou eliminar as causas, o retrocesso pode ser considerado mais eficaz sobre as pressões realizadas pelo homem na natureza (FARIA, 2011).

Figura 17 - Diagrama funcional da ferramenta de gestão ambiental DPSIR.



Fonte: FARIA, 2011.

No trabalho de Bühring *et al.* (2020), o conceito do DPSIR foi utilizado para descrever o impacto ambiental do acúmulo de dejetos suínos em criação intensiva. Os impactos causados pelos dejetos suínos foram considerados como mudanças de estado para o ecossistema e o sistema socioeconômico e a aplicação da ferramenta de gestão DPSIR contribuiu para a seleção de indicadores dos serviços ecossistêmicos envolvidos que podem auxiliar na promoção da sustentabilidade ambiental, subsidiando ações de políticas ambientais mais ajustadas à realidade de cada suinocultor respeitando os conjuntos de relações de causa e efeito. Entre os indicadores sugeridos pelos autores, podemos citar aqueles relacionados às condições e qualidade de vida dos agricultores (uso de crédito agrícola, nível de preocupação com resíduos), o uso do solo (área total para distribuição de dejetos, qualidade do solo), produção dos suínos (armazenamento de dejetos, tecnologias para o tratamento de dejetos), água e meio ambiente (licenciamento ambiental, odor da área de criação), entre outros.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Problemas ambientais relacionados à produção de dejetos suínos geram grandes desafios às pesquisas de desenvolvimento e estão intimamente relacionados à engenharia de biosistemas. Custos destas tecnologias são, em muitos casos, um entrave para aplicação do setor produtivo, justificada pela baixa capacidade de investimentos dos produtores, impedindo mitigar os possíveis impactos ambientais causados pela suinocultura, que em muitos aspectos, impossibilita reduzir os impactos ambientais sem agregar tecnologia adequada.

Fator determinante para a eficiência da tecnologia, a mão-de-obra utilizada para o manejo dos processos, desde a produção de suínos até o descarte correto dos dejetos tratados, exerce papel fundamental para que não haja falhas nos processos, gerando possíveis acidentes ambientais. Os conhecimentos técnicos e recursos humanos qualificados são determinantes de forma sistêmica para eficiência do processo de tratamento de dejetos suínos.

O processo de digestão anaeróbia não deve ser visto como um sistema único de tratamento de dejetos suínos, mas sim como uma etapa. O biofertilizante produzido por este, não deve ser lançado em curso d'água sem a remoção adequada da carga orgânica e de nutrientes presentes na fração líquida. Desta forma, se recomenda a utilização do biofertilizante em solos agricultáveis como fonte de fertilizante orgânico em áreas extensas de cultivo. Esta prática sempre deverá ser acompanhada por um profissional da área para estabelecer as recomendações necessárias para cada tipo de solo e cultura mediante análises de solo e do biofertilizante. Com isso, a utilização de tecnologias disponíveis para o tratamento de dejetos líquidos de suínos, pode minimizar os impactos ambientais e possibilitar a geração de energia através do biogás.

A implantação de unidades de compostagem pode ser considerada viável para a maioria dos suinocultores, desde que, projetada adequadamente para o volume de dejetos gerado na granja. Fatores como o provisionamento do substrato para compor o leito de compostagem, custos do substrato e monitoramento constantes para a avaliação

da evolução do processo devem ser considerados. Para tudo, este processo pode ser considerado seguro, mitigando possíveis impactos ambientais, além de converter os dejetos de suínos em fertilizantes orgânicos.

A gestão dos dejetos suínos é um tema complexo e dinâmico, não existindo uma solução única aplicada a todas as propriedades, mas diversas possibilidades que apresentam prós e contras. No entanto, as pesquisas desenvolvidas até a atualidade, demonstram fortes evidências da obtenção de resultados satisfatórios que interagem a produtividade, sustentabilidade dos recursos naturais e a preservação do meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

ALCANTARA, P. C. **Cinética de remoção de Matéria Orgânica e Coliformes Termotolerantes em Lagoas Facultativas**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/46351/5/2019\\_dis\\_pcalcantara.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/46351/5/2019_dis_pcalcantara.pdf). Acesso em: 21/09/2021.

AREZI, A. **Tratamento de Dejetos Suínos Visando ao Reaproveitamento do Efluente Tratado, Avaliação da Produção de Biogás e Recuperação de Nutrientes**. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade do Vale do Taquari. Lajeado/RS. jun./2020. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/handle/10737/2857>. Acesso: 18/10/2021.

BAVARESCO, A. S. L. **Lagoas de Aguapés no Tratamento Terciário de Dejetos Suínos**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, jun./1998. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/77860>. Acesso em: 04/10/2021.

BÜHRING, G. M. B. *et al.* **Estrutura conceitual para descrição do impacto ambiental do acúmulo de dejetos da produção intensiva de animais**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 41, n. 5, suplemento 1, p. 2029-2046, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/343514758\\_Conceptual\\_framework\\_for\\_describing\\_the\\_environmental\\_impacts\\_of\\_waste\\_accumulation\\_due\\_to\\_intensive\\_animal\\_production\\_Estrutura\\_conceitual\\_para\\_descricao\\_do\\_impacto\\_ambiental\\_do\\_acumulo\\_de\\_dejetos\\_da](https://www.researchgate.net/publication/343514758_Conceptual_framework_for_describing_the_environmental_impacts_of_waste_accumulation_due_to_intensive_animal_production_Estrutura_conceitual_para_descricao_do_impacto_ambiental_do_acumulo_de_dejetos_da). Acesso em: 17/10/2021.

CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G.C.; & SILVA, C. M. Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**. V 13, nº 32, p. 127-145, out/dez 2015. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/3159>. Acesso em 05/05/2021.

COLONI, R. D. JORNAL DIA DE CAMPO. **Aspectos da Suinocultura Brasileira e a Produção Carnea**. nov./2011. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=25446&secao=A>. Acesso em: 31/03/2021.

CONAMA. **Resolução nº 237 de 19 de dezembro de 1997**. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237\\_191297.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/download/CONAMA%20237_191297.pdf). Acesso em: 27/10/2021.

COSTA, G. S. da; MARVULLI. M. V. N. **Soluções Alternativas para o Tratamento, Disposição ou Reutilização de Dejetos Animais Provenientes de Atividades Suinícolas no Brasil**. Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. ANAIS SINTAGRO - Simpósio Nacional de Tecnologia em Agronegócio, Ourinhos-SP, v. 11, n. 1, p. 398-405, 22 e 23 out. 2019. Disponível em: <https://www.fatecourinhos>

.edu.br/anais\_sintagro/index.php/anais\_sintagro/article/view/61. Acesso em: 17/10/2021.

COUTINHO, C. I. **Planejamento para Manejo de Dejetos de Suínos - Estudo de Caso: Bacia dos Fragosos, Concórdia/SC.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, out/2001. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/80205>. Acesso em: 27/07/2021.

DA SILVA, C. L.; BASSI, N. S. S.; NASCIMENTO, D. E. **Implementação de Políticas Públicas pelas Instituições Públicas de Pesquisa: Um Estudo sobre Pesquisas e Tecnologias da EMBRAPA Suínos e Aves para a Mitigação do Impacto Ambiental da Suinocultura no Oeste Catarinense.** Revista Espacios. Vol. 32 (4) 2011. Pág. 10. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a11v32n04/11320442.html>. Acesso em 14/10/2021.

DALAVÉQUIA, M. A. **Avaliação de Lagoas de Estabilização para Tratamento de Dejetos Suínos.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, dez/2000. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78478>. Acesso em: 03/08/2021.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. Manejo de Dejetos de Suínos. **Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão.** Ano 7. BIPERS nº 11, mar/1998. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers11.pdf>. Acesso em: 05/05/2021.

DIAS, C. P. *et al.* **Tecnologia para o Tratamento de Dejetos Suínos com Vistas à Sustentabilidade.** XV Seminário Técnico Científico de Aves e Suínos – AveSui 2016. CentroSul/Florianópolis - SC, Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/suinocultura-abc/arquivos-artigos/resumo-expandido-2.pdf>. Acesso em: 16/12/2021.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. Coletânea de Tecnologias sobre Dejetos Suínos. **Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão.** Ano 10. BIPERS nº 14, ago./2002. Disponível em: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf>. Acesso em: 01/10/2021.

EMBRAPA. **Produção de Suínos.** EMBRAPA Suínos e Aves. Sistema de Produção, 1. ISSN 1678-8850 Versão Eletrônica jul./2003. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/protecao.html>. Acesso em: 16/07/2021.

EMBRAPA. **Sistemas de Produção Embrapa.** Sistema de produção de suíno. Sistema de Produção, 2 ISSN 1668-8850 jul/2017. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1ga1ceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaold=4911&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicold=5264](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=4911&p_r_p_-996514994_topicold=5264). Acesso em: 30/03/2021.

EMBRAPA. **Sistema de Tratamento de Dejetos de Suínos: Inventário Tecnológico.** Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2003. 83p. (EMBRAPA Suínos e Aves. Documentos, 85). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57909/1/doc85.pdf>. Acesso em: 29/09/2021.

EMBRAPA. **Sistema de Tratamento de Efluentes da Suinocultura - SISTRATES.** EMBRAPA Suínos e Aves, jan./2013. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=xn5p1CMnH3s>. Acesso em: 09/11/2021.

EMBRAPA. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas** / Coordenado por Paulo Armando Victória de Oliveira - Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109p.; 29cm. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II; Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina – Convênio nº 2002CV000002. Disponível em: [http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/publicacao\\_n3r85f3h.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_n3r85f3h.pdf). Acesso em: 28/09/2021.

FAGNELLO, E. **A História do Porco.** Suinocultura Industrial, Nov/2009. Disponível em: <https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/a-historia-do-porco/20091117-135856-t091>. Acesso em 30/03/2021.

FARIA, G. H. O. **Análise do Método DPSIR para Subsidiar o Processo de Gestão Ambiental do INCT - APA.** Dissertação de Mestrado - Universidade do Vale do Itajaí, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar. Itajaí/SC, mar./2011. Disponível em: <https://siaiap39.univali.br/repositorio/bitstream/repositorio/1958/1/Gustavo%20Henrique%20de%20Oliveira%20Faria.pdf>. Acesso em: 02/10/2021.

FILHO, P. B. *et al.* **Tecnologias para o Tratamento de Dejetos Suínos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.1, p.166-170, 2001. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/tZkCbPffBfPjctc8jfZMwPB/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em 15/10/2021.

GAMA, M. A. A.; LIMA, D. T.; AQUINO, S. **Biodigestores em Pequenas Propriedades Rurais de Minas Gerais: Desafios para a Implantação na Agricultura Familiar.** Anais do VII SINGEP – São Paulo – SP – Brasil – 22 e 23/10/2018. Disponível em: <https://singep.org.br/7singep/resultado/27.pdf>. Acesso em: 18/10/2021.

GARCIA-GONZÁLES, M. C.; et al. **Treatment of swine manure: case studies in European's N-surplus areas.** Scientia Agrícola. Sci. Agric. v.73, n.5, p.444-454, September/October 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/X8GRQnZ7qBB77yMDrmBnWpD/?lang=en>. Acesso em: 18/10/2021.

Geomembrana Geossintéticos. Membrana Lisa de PEAD. Disponível em: <https://www.geomembrana.com.br/geomembrana-lisa-de-pead.php>. Acesso em: 09/11/2021.

IMA – Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina. **Instrução Normativa 11 – FATMA, Suinocultura**, Fev/2009. Disponível em: <https://www.ima.sc.gov.br/index.php/licenciamento/instrucoes-normativas>. Acesso em: 12/04/2021.

JORGE, C. M. B. P. **Tratamento das Águas Residuais dos Dejetos de Suínos com Aguapé, um Estudo de Caso no Campus Nilo Peçanha - Pinheiral - RJ**. IX Congresso Nacional de Excelência e Gestão, ISSN 1984-9354. Jun./2013. Disponível em: <https://silo.tips/download/tratamento-das-aguas-residuais-dos-dejetos-de-suinos-com-aguape-um-estudo-de-cas>. Acesso em: 27/10/2021.

KUNZ, A.; ALBINO, J. J.; BORTOLI, M.; MIELE, M. **SISTRATES - Suinocultura com Sustentabilidade e Ambiental e Geração de Renda**. EMBRAPA Suínos e Aves, Concórdia/SC. Abr./2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195977/1/Folder-Sistrate-2019.pdf>. Acesso em: 17/10/2021.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. **Biodigestor para Tratamento de Dejetos de Suínos: Influência da Temperatura**. Comunicado Técnico 416. ISSN 0100-8862, dez./2005a. Concórdia/SC. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/86220/1/DCOT-416.pdf>. Acesso em: 16/12/2021.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias de Manejo e Tratamento de Dejetos de Suínos Estudadas no Brasil**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005b. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/download/PRODUCAO%20ANIMAL%20X%20IMPACTO%20AMBIENTAL/leitura%20anexa%206.pdf>. Acesso em: 30/09/2021.

LIMA, H. Q. **Fundamentos do Processo de Digestão Anaeróbia**. Portal Energia e Biogás. Ago. 2020. Disponível em: <https://energiaebiogas.com.br/fundamentos-do-processo-de-digestao-anaerobia>. Acesso em: 30/09/2021.

MACHADO, G.; SONEGATTI, O. **Consequências Ambientais Relacionados à Suinocultura no Município de Dois Vizinhos (PR - Brasil)**. Caderno Prudentino de Geografia – número 30 – p.132-160. Presidente Prudente, dez./2008. Disponível em: <http://agbpp.dominiotemporario.com/doc/CPG30FINAL.pdf>. Acesso em: 14/10/2021.

MÁQUINA SOLO. **Compostadores - Revolvedores de leiras**. Guarulhos/SP. set/2020. Disponível em: <https://maquinasolo.com.br/compostadores-revolver-de-leiras/>. Acesso em: 20/09/2021.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono** – Levantamento de Tecnologias de Tratamentos de Dejetos para Suinocultores de Pequeno Porte. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/suinocultura-abc/publicacoes-de-suinocultura/levantamento-de-tecnologias-de-tratamento-de-dejetos-para-suinocultura-de-pequeno-porte.pdf>. Acesso em: 29/03/2021.

MAYER, B. E.; RIBEIRO, J. E.; POMBO, V. **Análise de Viabilidade Técnica de um Sistema de Produção de Biogás a partir da Digestão Anaeróbia de Dejetos Suínos**.

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - *Campus* Ponta Grossa. Ponta Grossa/PR, 2017. Disponível em: [https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16540/1/PG\\_COENQ\\_2017\\_2\\_07.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16540/1/PG_COENQ_2017_2_07.pdf). Acesso em: 01/10/2021.

MEES, J. B. R. **Uso de Aguapé (*Eichornia Crassipes*) em Sistema de Tratamento de Efluente de Matadouro e Frigorífico e Avaliação de sua Compostagem**. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, mar./2006. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2793/1/Juliana%20Bortoli%20Rodrigues%20Mees.pdf>. Acesso em: 04/10/2021.

NICOLOSO, R. S. *et al.* **Estratégia para o Manejo dos Dejetos Líquidos dos Suínos**. Suinocultura Industrial. Ago/2016. Disponível em: <https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/estrategias-para-o-manejo-dos-dejetos-liquidos-de-suinos/20160805-084539-t803>. Acesso em: 12/04/2021.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. **Quatro das Dez Cidades com mais Suínos no País Tiveram Aumento do Rebanho**. Dez/2020. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/granjeiros/271792-quatro-das-dez-cidades-com-mais-suinos-do-pais-tiveram-aumento-do-rebanho.html#.YXQ0BtLMLcf>. Acesso em: 30/03/2021.

OLIVEIRA, P. A. V. de, coord. **Manual de Manejo e Utilização dos Dejetos de Suínos**. Concórdia: EMBRAPA – CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPSA. Documento, 27). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/434003>. Acesso em: 07/05/2021.

OLIVEIRA, P. A. V. de; et al. **Dimensionamento de Unidade de Compostagem Automatizadas para Tratamento dos Dejetos Suínos**. EMBRAPA - Suínos e Aves. Concórdia, SC 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/50048639-Dimensionamento-de-unidade-de-compostagem-automatizada-para-tratamento-dos-dejetos-suinos.html>. Acesso em: 20/09/2021.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Unidade de Compostagem para o Tratamento dos Dejetos de Suínos**. EMBRAPA – (Documentos/Embrapa Suínos e Aves, ISSN 0101-6245; 114) 39p.; 29cm. Concórdia, SC 2006. Disponível em: [http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf\\_doc/doc114.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/doc114.pdf). Acesso em: 20/09/2021.

OLIVEIRA, P. A. V. de, Produção e Manejo de Dejetos de Suínos. In: **Embrapa Suínos e Aves. Curso de Capacitação em Práticas Ambientais Sustentáveis: Treinamentos 2002**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2002. p. 72-90. Disponível em: [http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf\\_doc/8PauloArmando\\_Producao.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/8PauloArmando_Producao.pdf). Acesso em: 17/07/2021. Acesso em: 12/04/2021.

OLIVEIRA, P. A. V de. Uso Racional da Água na Suinocultura. In: **Embrapa Suínos e Aves. Curso de Capacitação em Práticas Ambientais Sustentáveis: Treinamentos 2002**. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 2002. P. 63-71. Disponível em:

[http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf\\_doc/7-PauloArmando\\_agua.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/7-PauloArmando_agua.pdf). Acesso em: 12/04/2021.

PALHARES, J. C. P. **Licenciamento Ambiental na Suinocultura: os casos brasileiros e mundial**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2008. Documentos/Embrapa Suínos e Aves, ISSN 0101-6245; 123. 52p.; 21cm. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/58228/1/doc123.pdf>. Acesso em: 27/10/2021.

PERDOMO, C. C.; COSTA, R. R. H. da; MEDRI, W.; MIRANDA, C. de R. **Dimensionamento de Sistemas de Tratamento (Decantador de Lagoas) e Utilização de Dejetos Suínos**. CT / 234 / Embrapa Suínos e Aves, Abril/1999, p. 1–5. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes//publicacao/436820/dimensionamento-de-sistemas-de-tratamento-decantador-e-lagoas-e-utilizacao-de-dejetos-suinos>. Acesso em: 18/09/2021.

PEREIRA, E. R.; SILVA, I. J. O.; OLIVEIRA, W.; POLES, L. F. Efluente Suinícola e seu Reuso Agrícola como Fonte de Irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas – BIOENG**. BioEng. Campinas, v.3 n.1, p. 061-065. Jan/Abr., 2009. Disponível em: <<https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/81>>. Acesso em: 30/03/2021.

PIRES, G. S. P. **Tratamento de Dejetos de Suínos em Meio Anaeróbio e Meio com Aeração Intermitente**. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina - jun/1999. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30361664.pdf>. Acesso em 20/09/2021.

PORTAL BIOGAS. Disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/hidrolise-na-biodigestao-anaerobia/fases-da-biodigestao-anaerobia-gleysson-b-machado/>. Acesso em 17/10/2021.

SÃO PAULO, **Assembléia Legislativa do Estado de São Paulo. Decreto nº 63.119 de 27/12/2017**. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/norma/184784>. Acesso em: 16/07/2021.

SCHERER, L. **Dia de Campo na TV. Compostagem Mecânica de Resíduos de Suínos**. Concórdia/SC, 13/01/2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Clbfb3-srTo>. Acesso em: 17/10/2021.

TERA. **Tratamento Biológico Aeróbio e Anaeróbio de Efluentes**. Publicado em 09/10/2013. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/bid/340697/tratamento-biologico-aerobio-e-anaerobio-de-efluentes>. Acesso em: 27/07/2021.

USDA – United States Department of Agriculture – **Foreign Agricultural Service**. 2020. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. Acesso em 30/03/2021.

FORMULÁRIO N.º 1/2022 - CBEB-AVR/DAE-AVR/DRG-AVR/IFSP

### FOLHA DE APROVAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

#### IDENTIFICAÇÃO DO(A) ALUNO(A)

**Nome:** Jamil Simplicio Pinto

**Título:** AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO DE DEJETOS DA SUINOCULTURA

**Curso:** Bacharelado em Engenharia de Biossistemas

#### BANCA EXAMINADORA

**Nome:** Prof<sup>o</sup>. Me. Celso Daniel Galvani Junior

**Instituição/Departamento:** IFSP - Câmpus Avaré

**Nota:** **9,5** **Julgamento:** (x) Aprovado ( ) Reprovado

**Assinatura:** [assinado eletronicamente]

**Nome:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina Marques

**Instituição/Departamento:** IFSP - Câmpus Avaré

**Nota:** **9,9** **Julgamento:** (x) Aprovado ( ) Reprovado

**Assinatura:** [assinado eletronicamente]

**Nome:** Marcela Pavan Bagagli

**Instituição/Departamento:** IFSP - Câmpus Avaré

**Nota:** **9,7** **Julgamento:** (x) Aprovado ( ) Reprovado

**Assinatura:** [assinado eletronicamente]

#### RESULTADO FINAL

Como parte das exigências para conclusão do Curso de Engenharia de Biossistemas, o candidato(a)/aluno(a), em sessão pública, foi considerado **APROVADO** pela Comissão Examinadora, com média final **9,7**.

Avaré, 03 de Dezembro de 2021.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marcela Pavan Bagagli**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/01/2022 15:37:27.
- **Celso Daniel Galvani Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/01/2022 16:11:24.
- **Maria Cristina Marques**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 22/01/2022 12:34:59.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifsp.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 286232

Código de Autenticação: 38dd65addc



FORMULÁRIO N.º 1/2022 - CBEB-AVR/DAE-AVR/DRG/AVR/IFSP

via IFSP, 2ª via do(a) Aluno(a), 3ª via do(a) Co-orientador(a)  
/ras”

*“Este documento não contém*