

BIODIGESTÃO COMO PERSPECTIVA DE ENCONTRO AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

André Luiz Fernandes de Amorim

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2020

Orientador:

Joaquim Carlos Gomes Esteves da Silva, professor catedrático, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, diretor do Curso de Mestrado de Ciências e Tecnologia do Ambiente

Co-Supervisor:

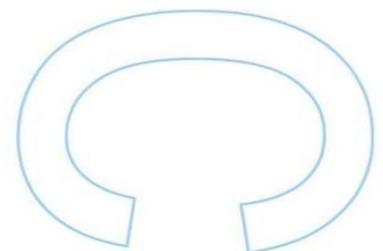
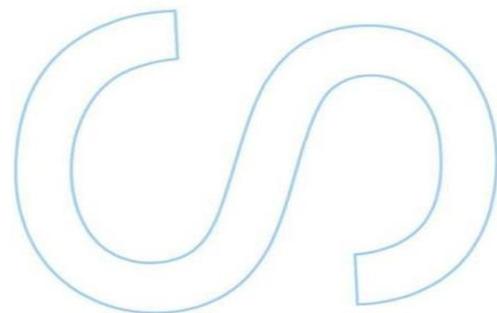
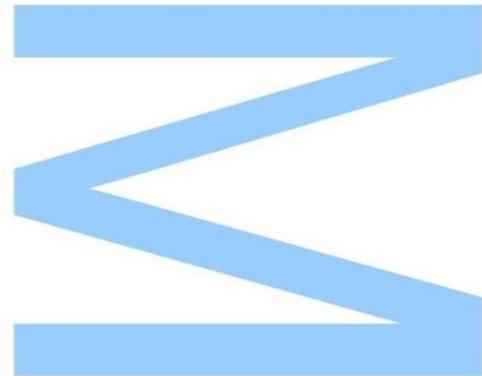
Leandro Vahia Pontual, Msc. Ciências Ambientais, Supervisor técnico dos trabalhos em gestão de resíduos e biodigestão da Empresa Lavouras da Físga.

15/06/2020

Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ___/___/___



AGRADECIMENTOS

Na conclusão de mais uma etapa acadêmica, venho por meio deste projeto a Jesus agradecer, por me guiar em uma carreira profissional e acadêmica, superando tormentas, alcançando sonhos e realizações conquistadas.

A Nossa Senhora de Aparecida, com seu olhar misericordioso e sua intercessão, possibilitando meu crescimento espiritual e pessoal, abrindo minha mente a combater o bom combate, com esperança e fé em dias melhores e mais iluminados.

Aos meus pais, que me educaram com amor e são o maior bem que possuo em minha vida. Cumpro minha missão, a qual foi por vocês o caminho preparado, com sacrifícios, para que enfim aqui hoje chegasse. Sou grato e orgulhoso por ter tido a graça de em vocês, ser filho e a vocês hoje dedico minha conquista e amor.

Ao meu irmão com sua alegria e sorriso apagando a tristeza que invade a alma; nasci recebendo você como primeiro presente, contribuindo para construção de meu caráter, como uma amizade que não se escolhe, mas muito agradece, com um amor incondicional, um companheiro universal e uma amizade eterna. Alcancei sonhos com seu apoio, desbravei dificuldades com suas palavras e alcancei vitórias em sua experiência.

Ao professor Dr. Joaquim Esteves, que acreditando em meu potencial e na importância ao fomento do saber, não mediu esforços no auxílio a confecção deste projeto, com atitudes nobres de dirigir e proporcionar o conhecimento aos alunos, de forma a prepara-los ao desbravamento de novas fronteiras, no alcance futuros brilhantes.

Ao Leandro Pontual, mais que professor, um amigo, mais que um guia um mestre; pela intensa vontade em proporcionar o conhecimento, incentivar os sonhos, lapidando o saber de futuros profissionais, de forma a alcançar fronteiras inigualáveis, com paciência, inteligência e dedicação, como condutor de almas diante do desconhecido, convertendo as esperanças de ontem, na realidade do amanhã.

Ao Dr. Rodrigo Lisboa e Sr. Manuel, pela oportunidade no desenvolvimento de estágio acadêmico, no impulso a criação de projetos ambientais que vão ao encontro do desenvolvimento sustentável, permitindo o progresso de trabalhos prático-teóricos sob este cunho, ademais ao auxílio de ferramentas e meios ao avanço tecnológico, acadêmico e científico do país.

Aos verdadeiros amigos, amigos irmãos, amigos professores, amigos acadêmicos, amigos estrangeiros, amigos distantes, amigos passageiros, a todos amigos de coração fraterno e humilde, agradeço pela troca de experiências, por terem me ensinado que amadurecer, não é sempre adotar as melhores escolhas, mas saber lidar com as consequências por ela geradas e a acreditar nos sonhos, pois trabalhe enquanto os demais descansam, estude enquanto outros dormem e viva o que os demais sonham. A todos sou grato e em meu coração, guardo a alegria de um dia receber a graça de terem feito parte de minha caminhada.

Concluo lembrando de meus animais, principalmente ao meu gato Sardinha, que mesmo tendo 100 motivos para chorar, me mostrou uma vida em que possa ter 100 outros motivos para sorrir.

DEDICATÓRIA

Em memória ao meu avô José Fernandes, que da experiência me ensinou a riqueza do saber e das palavras me mostrou a essência do viver

BIODIGESTÃO COMO PERSPECTIVA DE ENCONTRO AOS OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Resumo: Encontrar meios que permitam uma relação harmônica entre o ser humano e os ecossistemas, elevando a consciência ambiental, implantando uma economia verde e proporcionando um desenvolvimento sustentável dos meios urbanos e rurais, em conformidade com os princípios de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), é atualmente um desafio a sociedade contemporânea. Nesse contexto a biodigestão auxilia no progresso das metodologias de gestão de resíduos pré-existentes, na associação ao desenvolvimento de uma área de produção agroflorestal sustentável e no estímulo ao emprego de sistemas energéticos renováveis. Frente a este cenário, foram desenvolvidos trabalhos que associassem Biofertilização (Insumos da Biodigestão), ao aprimoramento de projetos de associação Micorrízica, exibindo seus resultados e conclusões alcançadas, no decurso das experimentações e pesquisas de campo na Lagoa da Bouça (41° 03' 05,14" N; 8° 26' 04,59"O). Com fins experimentais e demonstrativos, confeccionou-se um biodigestor experimental de bancada, com volume equivalente a 5,5 L, hermeticamente vedado, tendo em seu interior a introdução de um elutriado de alimentos processados, somados a resíduos de suínos, em uma razão de 1 kg deste, para 2L de água, com um máximo de 57 rotações por minuto (≤ 57 rpm) para homogeneização da amostra. Ao final de 15 dias se observou uma temperatura externa de 34,6 °C e metabólica de 35,3 °C, externando um contingente de metano produzido de aproximadamente 24%. Seguidamente a este valor, foi através de uma estimativa de produção diária, que se notou o possível alcance de 70% de metano obtido, sob condições ideais, em um período de 28 dias, constatando, portanto, o adequado funcionamento do biorreator.

PALAVRAS CHAVES: Biodigestão, Micorrízica, Biofertilizante e Metano.

BIODIGESTION AS A PERSPECTIVE AGAINST SUSTAINABLE DEVELOPMENT OBJECTIVES

Abstract: Find means that allow a harmonious relationship between human beings and ecosystems, raising environmental awareness, implementing a green economy and providing sustainable development in urban and rural areas, in accordance with the Life Cycle Assessment (LCA) principles, is currently a challenge in a contemporary society. In this context, biodigestion assists in the progress of pre-existing waste management methodologies, in association with the development of an agroforest sustainable production area and in stimulating the use of renewable energy systems. Faced with this scenario, works were developed that associated Biofertilization (Biodigestion Inputs), to the improvement of Mycorrhizal association projects, showing their results and conclusions reached, during the experiments and field research in Lagoa da Bouça (41° 03' 05,14" N; 8 ° 26' 04.59" W). For experimental and demonstrative purposes, a bench-top experimental biodigester, with a volume equivalent to 5.5 L, was hermetically sealed, with the introduction of a processed food elutriate, added to swine residues, in a ratio of 1 kg of this, for 2L of water, with a maximum of 57 revolutions per minute (≤ 57 rpm) for sample homogenization. At the end of 15 days, an external temperature was 34.6 °C and a metabolic temperature was 35.3 °C, externalizing a contingent of methane produced of approximately 24%. Following this value, it was through an estimate of daily production that the possible reach of 70% of methane obtained, under ideal conditions, noted over a period of 28 days, thus verifying the proper functioning of the bioreactor.

Key Words: Biodigestion, Mycorrhizal, Biofertilizer and Methane.

REFLEXÃO

No entendimento de que a evolução da ciência e da tecnologia está associada ao grupo interdisciplinar científico, profissional e acadêmico, chamados, somos ao desconhecido, como um ato de coragem, em uma maré imprevisível, sendo como a água em um fluxo contínuo de vida, transformando-a em uma realidade magnífica, aprimorando o saber, para fins de melhorar a coexistência em sociedade e interação entre comunidades.

André Amorim

SUMÁRIO

PREFÁCIO	10
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	10
LISTA DE FIGURAS	12
LISTAS DE TABELAS.....	14
LISTA DE EQUAÇÕES.....	15
LISTA DE GRÁFICOS	16
LISTA DE ANEXOS	17
LISTA DE ABREVIATURAS	18
CAPITULO I	19
1. INTRODUÇÃO	19
1.1. <i>Problemática e Enquadramento do Tema</i>	19
1.1.1. Biofertilizante.....	22
1.1.1.1. Capacidade de Troca Catiônica (CTC).....	24
1.1.1.2. Conceito de aplicação de biofertilizante	27
1.1.1.3. Pegada Ecológica.....	28
1.2. <i>Fomento ao desenvolvimento científico</i>	31
1.3. <i>Objetivo</i>	34
1.3.1. Objetivo geral.....	34
1.3.1.1. Objetivo específico	34
CAPITULO II	35
2. PERSPECTIVA EMPRESARIAL.....	35
2.1. <i>Aterros Sanitários: Importância e conceitos relevantes para o fomento do desenvolvimento sustentável</i>	35
2.2. <i>Aterros sanitários & Sistemas de Biodigestão</i>	42
2.3. <i>Aspectos econômicos de implantação de Aterros e Sistemas de biodigestão</i>	45
CAPITULO III	51
3. ESTADO DA ARTE	51
3.1. <i>Contexto histórico da biodigestão</i>	51
3.2. <i>Conceito de Biodigestores</i>	52
3.2.1. Biodigestor Indiano	57
3.2.2. Biodigestor Chinês.....	58
3.2.3. UASB.....	59
3.3. <i>Produtos da Biodigestão</i>	61
3.3.1. Biogás	64
3.3.2. Biofertilizante.....	68

3.4.	<i>Biometanização</i>	69
3.4.1.	Lavador de Gases.....	74
3.4.2.	Membranas de Metano	76
3.4.3.	Filtro de Carvão Ativado	78
3.4.4.	Filtro Fe/EDTA	80
3.4.5.	Reator de Microalgas.....	81
CAPITULO IV		85
4.	ESTAGIO CURRICULAR.....	85
4.1.	<i>Produção Agroflorestal Sustentável</i>	87
4.1.1.	Estudos pedológicos	89
4.1.1.1.	Trabalhos práticos e suas observações	91
4.1.2.	Proposta de Biodigestão	96
4.1.2.1.	Dimensionamento, perspectivas e conclusões.....	98
CAPITULO V		112
5.	PESQUISA LABORATORIAL.....	112
5.1.	<i>Materiais e Princípios da elaboração</i>	113
5.1.1.	Metodologia de produção e análise do Biogás.....	119
CAPITULO VI		124
6.	ANÁLISE DE RESULTADOS DA BIODIGESTÃO.....	124
CAPITULO VII		136
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
BIBLIOGRAFIA		139
ANEXOS		164
8.1.	<i>Entidades gestoras de resíduos orgânicos</i>	164
8.2.	<i>Horizontes do Solo</i>	165
8.3.	<i>Atributos do Solo</i>	166
8.4.	<i>Classificação dos Solos</i>	167
8.5.	<i>Compostagem e suas Etapas Biológicas</i>	181
8.6.	<i>Perspectivas da Compostagem</i>	182
8.7.	<i>Tipos de espécies de fungos</i>	183
8.8.	<i>Biodigestão efetuada no Brasil: Condições e Panoramas</i>	204

PREFÁCIO

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

- **CAPÍTULO I:** *Apresenta um contexto geral sobre a importância do desenvolvimento de sistemas energéticos renováveis, exibindo conceitos e perspectivas que se correlacionam com os processos de biodigestão, assim como referente a produção de biofertilizante, informando as vantagens e desvantagens de obtê-lo; exhibe o desejo pela escolha do tema, expondo argumentos e perspectivas sobre o ponto de vista do autor, enfatizando a simpatia e motivação em desenvolvê-lo;*

- **CAPÍTULO II:** *Oferece uma perspectiva empresarial, expressando os sistemas de biodigestão, cujos podem vir a contribuir para a melhoria de seus processos e sistemas já operantes, bem como a respectiva elevação da eficiência e rendimento dos sistemas energéticos e econômicos da mesma; difunde a relevância de um aterro sanitário, seus prós e contras. Denota conceitos importantes atrelados ao seu uso, assim como a magnitude de sua associação com demais metodologias e vantagens correlacionadas, expondo os respectivos aspectos socioeconômicos.*

- **CAPÍTULO III:** *Contextualiza a biodigestão, exibindo seus conceitos quanto as tecnologias utilizadas para produção de biogás e biofertilizante, os respectivos processos para sua formação, as condições e agentes envolvidos, assim como evidencia as metodologias usualmente conhecidas de purificação de gás biológico, denotando e comparando o contingente máximo de metano produzido em cada metodologia.*

- **CAPÍTULO IV:** *Apresenta atividades cometidas, estudos realizados, dimensionamentos desenvolvidos, assim como resultados obtidos e conclusões efetuadas, enquanto estagiário, em um período de 7 (sete) meses, no auxílio dos trabalhos referentes a construção de uma Área de Produção Agroflorestal Sustentável, de forma a aprimorar cientificamente e tecnologicamente o distrito do Porto, elevando a biomassa florestal em*

paralelo com a produção agrícola, por intermédio de processos de biodigestão e associações de Micorrizas.

- **CAPITULO V:** *Esclarece procedimentos laboratoriais propostos para confecção de um biodigestor experimental a fins didáticos, seguindo um modelo de batelada (bate), em paralelo com a apresentação de conceitos, metodologias empregadas, condicionantes envolvidas e conclusões obtidas a respeito da produção biogás e biofertilizante, para além do respectivo procedimento de análise deste gás biológico ao longo de 2 (duas) semanas, denotando as conclusões adquiridas, em comparação com princípios utilizados para produção de um biodigestor no Brasil, assim como análise de seu biogás.*

- **CAPITULO VI:** *Demonstração e explicação dos resultados experimentais realizados ao longo de 2 (duas) semanas, com plotagem de gráficos e apresentação das equações envolvidas, atestando o adequado desempenho do biodigestor experimental de bancada. Externa dados obtidos quanto a produção de biogás e conclusões efetuadas no tocante a sua análise cromatográfica.*

- **CAPITULO VII:** *Exposição das considerações finais envolvidas, como observação quanto a importância do desenvolvimento deste projeto de dissertação, com vistas ao fomento científico, acadêmico e empresarial.*

- **REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS:** *Exposição das Referências Bibliográficas pesquisadas, ao longo dos 10 últimos anos (em sua maioria), no decorrer do desenvolvimento desta dissertação e cruzamento com os referentes parágrafos formulados através de seu conteúdo.*

- **ANEXOS:** *Anexos necessários ao desenvolvimento deste projeto, por intermédio de informações complementares elucidativas a determinado tema.*

LISTA DE FIGURAS

- **FIGURA 1:** *Economia Circular relacionada a gestão de resíduos (Página 21);*
- **FIGURA 2:** *Biofertilizante produzido e coletado em um biodigestor (Página 24);*
- **FIGURA 3:** *Processo de troca catiônica entre partículas do solo (Página 25);*
- **FIGURA 4:** *Componentes de uma Pegada Ecológica (Página 30);*
- **FIGURA 5:** *Níveis de dióxido de carbono (Página 33);*
- **FIGURA 6:** *sistema de filtros em série (Página 51);*
- **FIGURA 7:** *Gasômetro de um biodigestor de batelada (Bate) (Página 54);*
- **FIGURA 8:** *Biodigestor Indiano de Fluxo Contínuo (Página 55);*
- **FIGURA 9:** *Biodigestor de Batelada semelhante a um modelo chinês (Página 56);*
- **FIGURA 10:** *Biodigestor de Batelada sem caixa de entrada e saída (Página 57);*
- **FIGURA 11:** *Corte transversal de um biodigestor Indiano (Página 58);*
- **FIGURA 12:** *Biodigestor Modelo Chinês (Página 59);*
- **FIGURA 13:** *Desenho esquemático de um Reator UASB (Página 61);*
- **FIGURA 14:** *Processo de estabilização anaeróbica da biodigestão (Página 66);*
- **FIGURA 15:** *Arqueas Metanogênicas Hidrogenotróficas (Página 67);*
- **FIGURA 16:** *Arqueas Metanogênicas Acetoclásticas (Página 68);*
- **FIGURA 17:** *Desenho esquemático de um Reator de Microalgas (Página 74);*
- **FIGURA 18:** *Desenho esquemático de um Lavador de Venturi (Página 75);*
- **FIGURA 19:** *Desenho esquemático de uma Torre de Enchimento (Página 76);*
- **FIGURA 20:** *Desenho esquemático de um Lavador de Gases (Página 77);*
- **FIGURA 21:** *Membrana de Metano em um tubo de poliuretano (Página 77);*
- **FIGURA 22:** *Desenho esquemático de Membrana de Metano (Página 78);*
- **FIGURA 23:** *Desenho esquemático da Tecnologia de PSA (Página 79);*
- **FIGURA 24:** *Elemento de Ferro Etilenodiaminotetracético (Página 81);*
- **FIGURA 25:** *Biomassa de Microalgas (Página 83);*
- **FIGURA 26:** *Imagem de um Fotobiorreator (Página 83);*
- **FIGURA 27:** *Imagem georreferenciada (Página 89);*
- **FIGURA 28:** *Perfis do Solo (Página 92);*
- **FIGURA 29:** *Imagem de um elutriado de solo (Página 93);*
- **FIGURA 30:** *Frações de Argila, Silte e Areia (Página 96);*
- **FIGURA 31:** *Corte vertical da estrutura morfológica de um cogumelo (Página 103);*
- **FIGURA 32:** *Desenho esquemático de uma Matriz de Perfuração (Página 106);*

- **FIGURA 33:** *Visão superior do local de armazenagem de cogumelos (Página 107);*
- **FIGURA 34:** *Prateleiras de armazenagem de cogumelos (Página 108);*
- **FIGURA 35:** *Seringa de inoculação de micélio ao tronco (Página 108);*
- **FIGURA 36:** *Desenho esquemático do cultivo de cogumelos (Página 109);*
- **FIGURA 37:** *Biodigestor experimental de bancada (Brasil) (Página 110);*
- **FIGURA 38:** *Biodigestor experimental de bancada (Portugal) (Página 111);*
- **FIGURA 39:** *Agitador Mecânico Suspenso ou Mixer Suspenso (Página 112);*
- **FIGURA 40:** *Arruela de borracha côncava (Página 113);*
- **FIGURA 41:** *Materiais intrínsecos para confecção do biodigestor (Página 113);*
- **FIGURA 42:** *Área superior do biodigestor experimental de bancada (Página 114);*
- **FIGURA 43:** *Medidor de Fluxo (Página 114);*
- **FIGURA 44:** *Imagem e desenho esquemático de um biorreator (Página 116);*
- **FIGURA 45:** *Dessecador para calcinação da Matéria Orgânica (MO) (Página 118);*
- **FIGURA 46:** *Seringa Valvulada de Gases (Página 120);*
- **FIGURA 47:** *Vial para armazenamento de biogás (Página 120);*
- **FIGURA 48:** *Cromatograma do Ácido Acético (Página 122);*
- **FIGURA 49:** *Cromatograma inicial no decorrer de 7 dias (Página 123);*
- **FIGURA 50:** *Termômetro digital (Página 126);*
- **FIGURA 51:** *Volumes e Vazões do Medidor de Fluxo (Página 129);*
- **FIGURA 52:** *Cromatograma do Metano (Página 129);*

LISTAS DE TABELAS

- **TABELA 1:** *Valores da Capacidade de Troca Catiônica no solo no solo (Página 23);*
- **TABELA 2:** *Descrição conceitual dos 3Rs (Página 32);*
- **TABELA 3:** *Conceitos de aterro sanitário, controlado e lixão (Página 34);*
- **TABELA 4:** *Sistemas operacionais de um aterro sanitário (Página 38);*
- **TABELA 5:** *Classificação dos aterros sanitários e seu capital (Página 42);*
- **TABELA 6:** *Capital para concepção de biodigestores (Página 43);*
- **TABELA 7:** *Dimensionamento de biodigestores (Brasil) (Página 45);*
- **TABELA 8:** *Metano produzido pelos processos de purificação (Página 65);*
- **TABELA 9:** *Concentrações químicas dos elementos existentes no solo (Página 85);*
- **TABELA 10:** *Tempo de infiltração para os perfis do solo (Página 86);*
- **TABELA 11:** *Valores das frações de Argila (Página 88);*
- **TABELA 12:** *Dimensionamento de um biodigestor (Portugal) (Página 92);*
- **TABELA 13:** *Informações no decorrer do processo de biodigestão (Página 115);*
- **TABELA 14:** *Dados padrões da amostra de metano (Página 119).*

LISTA DE EQUAÇÕES

- **EQUAÇÃO 1:** *Calculo de saturação por bases (Página 22);*
- **EQUAÇÃO 2:** *Capacidade de Troca Catiônica (CTC) a pH 7 (Página 23);*
- **EQUAÇÃO 3:** *Capacidade de Troca Catiônica (CTC) efetiva (Página 23);*
- **EQUAÇÃO 4:** *Dose de biofertilizante aplicado ao solo ou a planta (Página 24);*
- **EQUAÇÃO 5:** *Desvio Padrão (Página 25);*
- **EQUAÇÃO 6:** *Saldo Ecológico (Página 27);*
- **EQUAÇÃO 7:** *Pegada Ecológica em hectares globais (Página 28);*
- **EQUAÇÃO 8:** *Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) (Página 57);*
- **EQUAÇÃO 9:** *Inóculo Necessário ao Biodigestor (Página 57);*
- **EQUAÇÃO 10:** *Equação Clapeyron (Página 92);*
- **EQUAÇÃO 11:** *Sólidos Totais (ST) (Página 106);*
- **EQUAÇÃO 12:** *Sólidos Fixos (SF) (Página 106);*
- **EQUAÇÃO 13:** *Sólidos Voláteis (SV) (Página 107);*
- **EQUAÇÃO 14:** *Razão de matéria orgânica e inóculo (Página 107);*
- **EQUAÇÃO 15:** *Integral do cromatograma de metano (Página 118);*
- **EQUAÇÃO 16:** *Fração Molar de um corpo hídrico (Página 118);*
- **EQUAÇÃO 17:** *Concentração de um gás (Página 118);*
- **EQUAÇÃO 18:** *Equação da Curva de Calibração obtida (Página 119);*

LISTA DE GRÁFICOS

- **GRÁFICO 1:** *Capital necessário a instalação de Aterros Sanitários (Página 43);*
- **GRÁFICO 2:** *Metano produzido por sistemas de purificação (Página 65);*
- **GRÁFICO 3:** *Ciclo de Vida das Microalgas (Página 77);*
- **GRÁFICO 4:** *Infiltração da Água nos perfis do solo (Página 87);*
- **GRÁFICO 5:** *Frações de Argila, Silte e Areia (Página 88);*
- **GRÁFICO 6:** *Curva de calibração padrão do comportamento de metano (Página 119);*
- **GRÁFICO 7:** *Estimativa de produção diária de metano (Página 121);*

LISTA DE ANEXOS

- **ANEXO 1:** *Entidades Gestoras de Resíduos (Página 162);*
- **ANEXO 2:** *Perfis do esqueleto do solo (Página 163);*
- **ANEXO 3:** *Atributos do solo quanto a sua gênese (Página 164);*
- **ANEXO 4:** *Classificação pedológica dos solos (Página 165);*
- **ANEXO 5:** *Processo Biológico de Valorização da Matéria Orgânica (MO) (Página 179);*
- **ANEXO 6:** *Resíduos permitidos ou proibidos a uma compostagem (Página 180);*
- **ANEXO 7:** *Espécies de fungos e suas características (Página 181);*
- **ANEXO 8:** *Processos de biodigestão e informações gráficas (Página 202);*

LISTA DE ABREVIATURAS

- Organização das Nações Unidas (ONU);
- United Nations Organization (UN);
- Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA);
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA);
- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL);
- Wide Found For Nature (WWF);
- Avaliação do Ciclo de Vida (AVC);
- Pegada Ecológica (PE);
- Matéria Orgânica (MO);
- União Européia (EU);
- Gases do Efeito Estufa (GEE);
- Programa Nacional para Alterações Climáticas (PNAL);
- Fundo Português de Carbono (FPC);
- Estratégia Nacional de Adaptações as Alterações Climáticas (ENAAAC);
- Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC);
- Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética (PNAEE);
- Conferencia das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (RIO+20);
- Instituto de Gás e Esterco (IGG);
- Programa de Mobilização Energética (PME);
- Estações de Tratamento de Águas Residuárias (ETAR);
- Zona de Reação (ZR);
- Plano de Ordenamento Albufeira Crestuma-Lever (POACL);
- Plano Estratégico de Gestão de Resíduos Urbanos 2020 (PERSU 2020+);
- Zona de Infecção Micorrízica (ZIM).

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problemática e Enquadramento do Tema

Com um olhar holístico a elevação da qualidade de vida, associado a proteção dos ecossistemas, em conformidade aos objetivos de desenvolvimento sustentável, designado pela Organização das Nações Unidas (ONU), projetos que denotem uma promoção de uma agricultura sustentável, tem alcançado espaço na sociedade [1][2].

Concernente a uma agricultura sustentável, pesquisas de cunho ambiental tem tomado espaço ao longo de décadas [3]. Ademais, o desenvolvimento tecnológico de fontes energéticas renováveis, proporcionou o surgimento de outras de semelhante cunho, com facilidades de financiamento, instalação junto a mercados consumidores e menor tempo de implantação, contribuindo para sua expansão [1][2].

O crescimento populacional e o ritmo de consumo, proporcionaram um acentuado gasto energético, em comparação aos anos que se precederam em diversos setores da economia, como agrícola e industrial [1]. Uma vez que a maioria da produção energética advém de combustíveis fósseis, investimentos em energias comprometidas com desenvolvimento sustentável e melhoria de um padrão socioeconômico, acabou por se tornarem necessários [2].

Nesse contexto de métodos eficientes para geração energética, através da metodologia da biodigestão, surge o biogás, como um recurso energético proveniente de resíduos sólidos, consistindo este um dos assuntos consideravelmente abordados na atualidade, devido ao desenvolvimento tecnológico, industrial e aumento populacional [3].

É demonstrável a significativa eficiência do processo de calefação, iluminação e em motores estacionários de combustão interna, como apenas algumas das vantagens do uso do biogás para produção energética. Em meio a sua emissão, através da biodigestão, com a utilização de dejetos orgânicos, há redução do grau de poluentes a estados menos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente [3].

Houve uma grande alavancagem a partir do Protocolo de Kyoto, associado ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), ao rápido desenvolvimento econômico mundial e ao crescimento da produção agrícola, de pesquisas e investimentos com ênfase na produção de biogás e biofertilizante, na busca de soluções sustentáveis, atrelados a Economia Circular, com vistas ao princípio da Avaliação do Ciclo de Vida [4].

Segundo MAGALHÃES, a Economia Circular (Figura 1), representa uma metodologia que prioriza a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia, aumentando o tempo de vida útil dos produtos, materiais e recursos, com vistas ao modelo econômico [5].

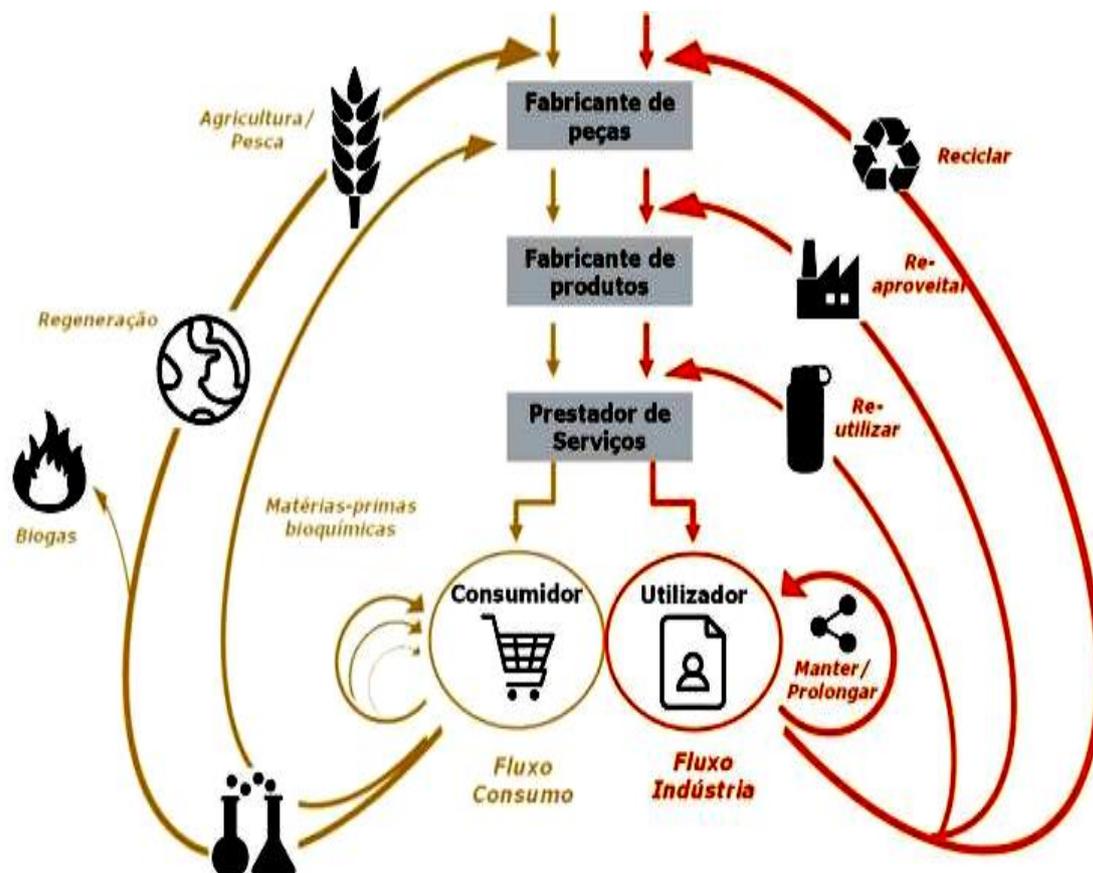


Figura 1: Representação simplificada de Economia Circular ligada a recolha, tratamento, valorização e eliminação de resíduos em um desenvolvimento socioeconômico ambiental [5].

Já pelo método da Análise do Ciclo de Vida (ACV) de um produto, é possível monitorar e demonstrar as inter-relações das etapas de produção, assim como seus respectivos impactos ambientais, constatando que o “verde” exibe apenas uma etapa em toda a produção, realizando um mapeamento das consequências ambientais de um produto, considerando o processo de logística reversa [6] [7].

A ACV reutiliza as matérias-primas ao final da produção, no início da mesma, gerando uma melhoria contínua do processo e a inspecionando com auxílio da ciência da Gestão Ambiental [6] [7]. Consiste na compilação entre entradas e saídas dos possíveis impactos ambientais de um produto[8] [9].

Consoante aos impactos da incorreta gestão de resíduos sólidos e uso de combustíveis fósseis, há necessidade de metodologias orientadas pelos conceitos de *midpoint* (métodos de impacto) e *endpoint* (métodos de dano), simplificando a complexidade de fluxos em setores de interesse, baseando-se na cadeia de causa-efeito [9] [10], alterando o ambiente, com modificações físicas, químicas e biológicas a estados iniciais [10] [11].

Em relação as metodologias associadas a ACV, é importante denotar os conceitos dos processos e ciências envolvidas, que auxiliam em sua melhoria contínua, referente Logística Reversa e a Gestão Ambiental, ambas citadas anteriormente [8] [12].

A logística reversa consiste em um instrumento de desenvolvimento socioeconômico, caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para o reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou ainda outra destinação final ambientalmente adequada [13].

Contudo, conforme o tema desta pesquisa, no que concerne a biodigestão, o conceito e aplicação da coleta seletiva, referente ao processo de separação e recolhimento de resíduos descartáveis por empresas e pessoas [14], está mais intimamente relacionado com a gestão de resíduos orgânicos, do que propriamente ao que se entende por logística reversa [3].

Ainda assim, a logística reversa não se baseia apenas a separação de resíduos não-orgânicos, os levando para reutilização no início da cadeia produtiva, mas a resíduos orgânicos como um todo, uma vez que estes produtos, tal qual alimentos, podem voltar ao início da cadeia produtiva, como forma de energia ou como composto de elevada qualidade a solos [3].

Segundo PNUMA, Gestão Ambiental representa um desenvolvimento do planejamento estratégico, com a relativa otimização de processos e produtos, permitindo oportunidades de melhoria ambiental, em contribuição com a

auditoria ambiental, possibilitando a redução de resíduos, adoção do marketing ambiental, utilização de procedimentos ambientais e especificações, escolha de critérios para a rotulagem ambiental, definição de políticas e acréscimos relacionados às metodologias educacionais [15].

Logo, o conjunto de conceitos provenientes a ACV (logística reversa e coleta seletiva), e a ciência que atua em paralelo ao seu avanço (Gestão Ambiental), mediante ao contexto da biodigestão, permite o surgimento de uma economia circular verde [3].

Desmistificando os moldes da economia global, expondo orientações e práticas a tomadores de decisão, a economia circular verde eleva o potencial produtivo, preservando uma relação harmônica com o ecossistema, melhorando o bem-estar da humanidade, com manutenção da igualdade social, redução dos impactos ambientais, elevando investimentos públicos e privados, aumentando a eficiência energética e o uso sustentável dos recursos naturais [3] [7].

Conforme Amorim, no que se entende por biogás, uma vez emitido, consiste num fluido gasoso, composto por um conjunto de elementos químicos (50% a 70% CH₄; 25% a 50% de CO₂; 0% a 1% de H₂; 0% a 3% de H₂S; 2% de O₂; 0% a 1% de NH₃; 0% a 7% de N₂), gerados a partir de resíduos orgânicos [3].

Além do biogás, em meio a sua produção, a biodigestão também propicia a geração de biofertilizante na mesma razão hídrica inserida na câmara de fermentação [3]. Quando no solo, além de proporcionar uma resposta mais rápida do que os demais fertilizantes, fornece nutrientes essenciais para as plantas e auxilia no controle de doenças e insetos [16].

1.1.1. *Biofertilizante*

Biofertilizante (Figura 2), consiste em um adubo orgânico, que por meio de nutrientes e mesmo organismos, contribui com a saúde da flora, elevando sua resistência, vitalidade, melhora do crescimento das culturas, produção de alimentos saudáveis, baixo custo quando comparado a outros fertilizantes, elevação da qualidade do solo e representa uma fonte alternativa de renda, concernente a venda do produto [17] [18].



Figura 2: Imagem representativa de biofertilizante produzido e coletado em um biodigestor de batelada [16]

Com abundância de matéria prima, não poluentes e sem cheiros desagradáveis, os biofertilizantes não ocasionam salinização do solo, viabilizando o equilíbrio nutricional das plantas, maior resistência ao ataque de pragas, doenças, equilíbrio ecológico e ambiental [17] [18].

No solo, devido a sua capacidade fertilizante, o biofertilizante fornece elementos essenciais ao desenvolvimento da biomassa florestal, como por exemplo, nitrogênio, fósforo e potássio, melhorando suas respectivas características físicas, químicas e biológicas, minimizando a lixiviação de sais, alterando de forma favorável a estrutura e porosidade do solo, com manutenção de sua diversidade e do equilíbrio dos microrganismos em sua estrutura [19] [20].

Através do fertilizante biológico, para além da recuperação, este permite um melhoramento da qualidade de quaisquer solos pedológicos, auxiliando assim o crescimento de biomassa vegetal e florestal, seja na área de estudo realizado em Portugal (Freguesia de Medas) ou referente a suas áreas a nível nacional, uma vez que seus solos são comumente ácidos ($4,5 \leq \text{pH} \leq 5$) [21] [22].

Quando corretamente dosados, os fertilizantes biológicos elevam o pH dos solos, os corrigindo a valores que variam de 7 a 8, melhorando a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), a fertilidade biológica e corroborando com seus processos de mineralização, através dos nutrientes e microrganismos presentes em sua composição [23] [24].

1.1.1.1. Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

A CTC consiste na quantidade de cargas negativas existentes no solo. Quanto maior o número de cargas negativas, maior a adsorção de cátions por suas partículas, especialmente argila e/ou matéria orgânica e menor carreamento dos mesmos pelas águas da chuva (menor perda por lixiviação) [25] [26].

Os cátions que são mantidos na argila ou nas partículas orgânicas do solo, podem ser substituídos por outros cátions, sendo denominados, portanto, de trocáveis (Figura 3). A medida que ocorre a troca de cátions, aqueles, agora livres, são absorvidos pelas plantas, as disponibilizando como nutrientes [25] [26].

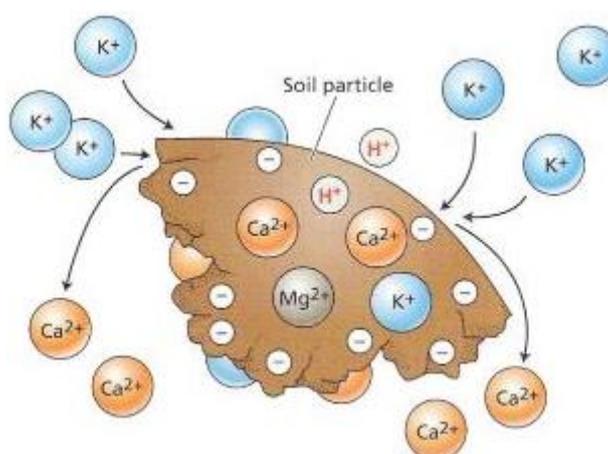


Figura 3: Representação do processo de troca catiônica entre as partículas do solo, onde os cátions exibidos estão ou vão ser adsorvidos no solo em razão deste denotar, ao seu redor, cargas negativas. A adição de um cátion (K^+) desloca outros cátions (Ca^{2+}) tornando-os disponíveis para as raízes [27].

Uma segunda etapa pode ocorrer, mesmo não sendo tão frequente, referindo-se, quando em decorrência da introdução de biofertilizante ao solo, a geração de troca ativa, ocasionando um gasto energético pela planta, para que a mesma possa absorver um nutriente, liberando um cátion de hidrogênio as partículas do solo [25] [27].

Portanto, a CTC correlaciona-se a fertilidade do solo, onde quanto maior seu valor, maior o número de cátions retidos, dependendo da quantidade, do tipo de argila e de matéria orgânica presente [25] [26]. Geralmente, minerais de argila exibem valores de CTC variando entre 10 cmol/dm^3 e 150 cmol/dm^3 e a CTC da matéria orgânica variando de 200 cmol/dm^3 a 400 cmol/dm^3 [27].

Logo, dependendo da quantidade, biofertilizante tende a elevar, tanto o material orgânico e nutrientes, quanto pH, sendo seu aumento responsável pela

elevação de elementos H^+ [26] [27], o neutralizado e liberando-o, resultando em espaços vazios preenchidos por cargas negativas, possivelmente ligadas a demais nutrientes (cálcio, magnésio, potássio), reduzindo a lixiviação, elevando a CTC e proporcionando disponibilidade a planta, quando esta absorve água [27] [28].

Um outro fator influenciador da variação de CTC, é o contingente de material orgânico no solo. Solos com menores valores de CTC, exibem menos matéria orgânica e conteúdo de argila, retendo conseqüentemente, menos água, obtendo menores rendimento de colheita e dificuldades no cultivo de espécimes florestais [28] [29].

Quando ocorre referência a materiais orgânicos, há compreensão da existência de compostos de carbono, originados a partir da decomposição de resíduos vegetais e animais. Estes proporcionam uma melhor absorção e retenção de água ao solo, denotam riqueza de nutrientes e externam alta reatividade, o qual permite um aumento da CTC e regulação da disponibilidade dos nutrientes as plantas [28] [29].

A densidade da carga também pode vir a influenciar na CTC, pois cátions que possuem valores maiores relativos a essa variável, exibem uma forte adsorção ao solo, levando a planta denotar dificuldade em absorver tais elementos. Via regra geral, o potássio (K^+) é mais denso que o magnésio (Mg^{2+}) e este é mais denso que o cálcio (Ca^{2+}) [29] [30].

Para além da densidade, a natureza do solo também influencia na CTC, sendo referente a uma razão entre a quantidade de cátions pelo volume de água no solo, isto é, quanto maior a diluição da solução no solo, maior será a preferência da planta pelos cátions de menor densidade de carga ($Na^{2+} < Na^+$), representada a seguir (equação 1) [29] [30]:

$$V(\%) = 100 \times \frac{SB}{CTC}$$

Equação 1: Calculo de saturação por bases. SB: Significa saturação por bases, obtido através da soma dos cátions permutáveis presente no solo, como por exemplo, Ca^{2+} , Al^{3+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e H^+ [29] [30].

Normalmente, há quatro tipos de Capacidade de Troca Catiônica, CTC permanente, CTC variável, CTC a pH 7 e CTC efetiva [25] [31].

A CTC permanente decorre em momentos de substituição isomórfica do solo (substituição de um cátion, por outro cátion de mesma configuração), onde não há variação de seu pH, aparecendo em ambientes de solos menos desenvolvidos, em regiões temperadas [25] [31].

Todavia, CTC variável reflete os números de cargas elétricas que podem sofrer alteração mediante a modificação de pH, verificando-se em regiões tropicais [25] [31].

Quando o solo se encontra em ponto de neutralidade (pH =7), exibe uma característica distinta de outros valores de acidez ou basicidade (Tabela 1) [24], com vistas a quantidade de cargas negativas existentes em sua estrutura, sendo, portanto, este instante caracterizado como CTC a pH 7 (Equação 2) [24][31] [32].

Tabela 1: Valores da Capacidade de Troca Catiônica (CTC) no solo no solo, quando em um pH a 7 (Neutro). Quanto maior for a faixa de seus valores, mais fértil o solo em questão estará, com maior disponibilidade de nutrientes, menor lixiviação destes nutrientes, facilidade de passagem hídrica pelos espaços vazios do solo, assim como uma maior abundância de matéria orgânica em suas partículas [25] [31] [32].

FAIXA	CTC A pH 7 (cmol/dm ³)
BAIXA	CTC ≤ 5,5
MEDIA	5,6 ≤ CTC ≤ 15,0
ALTA	15,1 ≤ CTC ≤ 50,0

$$CTC = SB + H^+ + Al^{3+}$$

Equação 2: Equação para obtenção de valores de Capacidade de Troca Catiônica, quando em pH 7. SB = Soma das Bases (cálcio, magnésio, potássio, sódio, etc.); H⁺ = Substâncias ácidas que liberam o elemento H⁺ ao solo; Al³⁺ = Alumínio cátion existente no solo [25] [31] [32].

Por fim, a CTC efetiva, é obtida pela soma dos cátions efetivamente trocáveis, relacionando-se a capacidade do solo em os reter ao pH natural. Desta maneira, os cátions, Ca⁺², Mg⁺², K⁺ e Na⁺, em conjunto com o Al⁺³ comporiam a CTC efetiva (t) do solo [24], com resultados denotados em cmol/dm³ ou cmmol/dm³, sendo expressos por meio da equação 3 [31] [32]:

$$CTC \text{ efetiva} = \sum_{i=1}^n C (Al^{+3} + Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^+ + Na^+)$$

Equação 3: Equação da Capacidade de Troca Catiônica Efetiva, que corresponde ao somatório da concentração dos elementos químicos em cmol/dm³ ou mmolc/dm³ no solo [31] [32].

1.1.1.2. Conceito de aplicação de biofertilizante

A presença de macro (Nitrogênio; Fósforo; Potássio; Enxofre; Cálcio; Magnésio) e micronutrientes (Boro; Cloro; sódio; sílica; Cobre; Ferro; Manganês; Molibdênio; Zinco; Carbono; Hidrogênio; Oxigênio) na forma líquida do biofertilizante, absorvidos pelos vegetais, proporcionam incrementos a diversidade e a riqueza da fauna edáfica, com produção de colêmbolos, os quais também consistem em indicadores ambientais de qualidade dos solos [33] [34].

Sob forma líquida, o biofertilizante contém uma complexa composição de nutrientes essenciais às plantas, que não promovem cheiros desagradáveis e são não-poluentes, favorecendo a multiplicação de microrganismos e possibilitando um aumento da porosidade desses, propiciando a penetração do ar e da água com maior facilidade nos espaços vazios do esqueleto do solo [32].

A aplicação de biofertilizante ocorre tanto em superfície foliar, caule ou sistema radicular das plantas, assim como por metodologias de produção de massa seca, através de sua imersão em água decantado, com posterior aplicação do produto obtido. Quando pulverizado em campo, possibilita uma simplicidade e facilitação dos trabalhos, mas seu uso só pode ser efetivado pós períodos de rega ou chuvas [35] [36].

Sua aplicação, regida pela equação a seguir (equação 4) [35] [36], com vistas a frequência e época de adubação, dependerá da espécie cultivada. Em média, o biofertilizante é absorvido pelo solo rapidamente, mas o mesmo deve ser diluído de 2% a 10%, em cada aplicação, de acordo com a espécie que irá usufruir de seus benefícios [37].

$$TA_{AR} = 1000 \times \frac{[N_{abs}(T_{m1} \times MO \times \rho_s \times p \times 10^7 \times 0,05 \times \frac{n}{12})]}{[T_{m2} \times N_{ORG} + (N_{Amoniacal} + N_{Nittrato}) \times TR]}$$

Equação 4: Cálculo da dose de biofertilizante aplicado ao solo ou diretamente a planta. TA_{AR} = Taxa ou dose de aplicação; N_{abs} = Absorção de nitrogênio pela determinada cultura em kg/ha, onde é geralmente considerado um valor de 30 kg/ha (Valor de Entrada); T_{m1} = Taxa anual de mineralização de material orgânico no solo, sendo um valor adimensional considerado como 0,01; MO = Conteúdo de material orgânico no solo (adimensional); ρ_s = Massa específica do solo em T/m^3 ; p = Profundidade adotada para aplicação em metros (m); n = Número de meses de cultivo da cultura; T_{m2} = taxa anual de mineralização do nitrogênio orgânico, onde seu valor é adimensional e tabelado em 0,5; N_{org} = Nitrogênio Orgânico disponibilizado pelo biofertilizante (mg/L); $N_{amoniacal}$ = Nitrogênio Amoniacal disponibilizado pelo Biofertilizante; $N_{nittrato}$ = Nitrogênio nítrico disponibilizado pelo biofertilizante; TR = Taxa de recuperação do nitrogênio mineral pela cultura, tendo um valor adimensional de 0,7 [35] [36].

Ao obter os valores das laminas necessárias à aplicação do biofertilizante, se deve calcular os atributos agronômicos, para compreender a dose que deverá

ser inserida ao solo, de forma a entender a correta distribuição dos valores amostrais em torno (Desvio padrão alto) ou próximo da média (Desvio Padrão baixo) [37], através da equação a seguir (equação 5) [35] [36].

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - X)^2}{n - 1}}$$

Equação 5: Formula do desvio padrão de uma amostra, utilizada para o cálculo dos valores amostrais de distribuição do biofertilizante [38].

Em presença de pragas (Spodoptera frugiperda; Euschistus heros; Amaranthus palmeri; Helicoverpa armigera; Phakopsora pachyrhizi) ou insetos (Aracnídeos; Panorpida; Psychodomorpha; Oestroidea; Silphidae), também dependendo da espécie (Bemisia tabaci; Dalbulus maidis; Euschistus heros) [40], a dosagem de biofertilizante pode ser elevada, entre 10% a 15% maior [24] [26]. Segundo a EMBRAPA, seu uso melhora a saúde das espécies vegetais e florestais, ampliando a eles sua resistência [39] [40].

Resultante da fermentação de resíduos orgânicos e nutrientes em água, o líquido da câmara de fermentação do biodigestor, deve ser aplicado para controle de pragas ou fertilização em mais de uma dose, devido a possíveis perdas por erosão ou lixiviação (Argissolos; Chernossolo; Latossolo; Nitossolo). Ademais, seu excesso pode ocasionar desequilíbrios ao ecossistema, gerando impactos ao solo e impossibilidades de cultivo [26] [40].

Além das vantagens descritas anteriormente, para situação em proposta avaliação, o manejo de biofertilizante em solos portugueses, permite que o desenvolvimento científico siga os moldes do conceito de pegada ecológica (PE), como gerador de benefícios a saúde humana e aos ecossistemas que nos cerca, proporcionando a sustentação dos recursos materiais e energéticos [41] [42].

1.1.1.3. Pegada Ecológica

O indicador de sustentabilidade correlacionando ações antrópicas sobre o ecossistema com a respectiva capacidade regenerativa deste, é então denominado de Pegada Ecológica (PE). Esta, antes de ser um conceito auxiliador da sustentabilidade no mundo, vem medir e gerenciar os recursos através da economia, explorando o estilo de vida de indivíduos, produtos, serviços, organizações, entre outros [43].

De acordo com o WWF, no ano de 2020, houve um destaque, quanto a área (hectares) no ambiente percorrida pela ação humana, denotando a dimensão de uma Pegada Ecológica por ela influenciada e manifestando a extensão produtiva do território (Figura 4) [44].

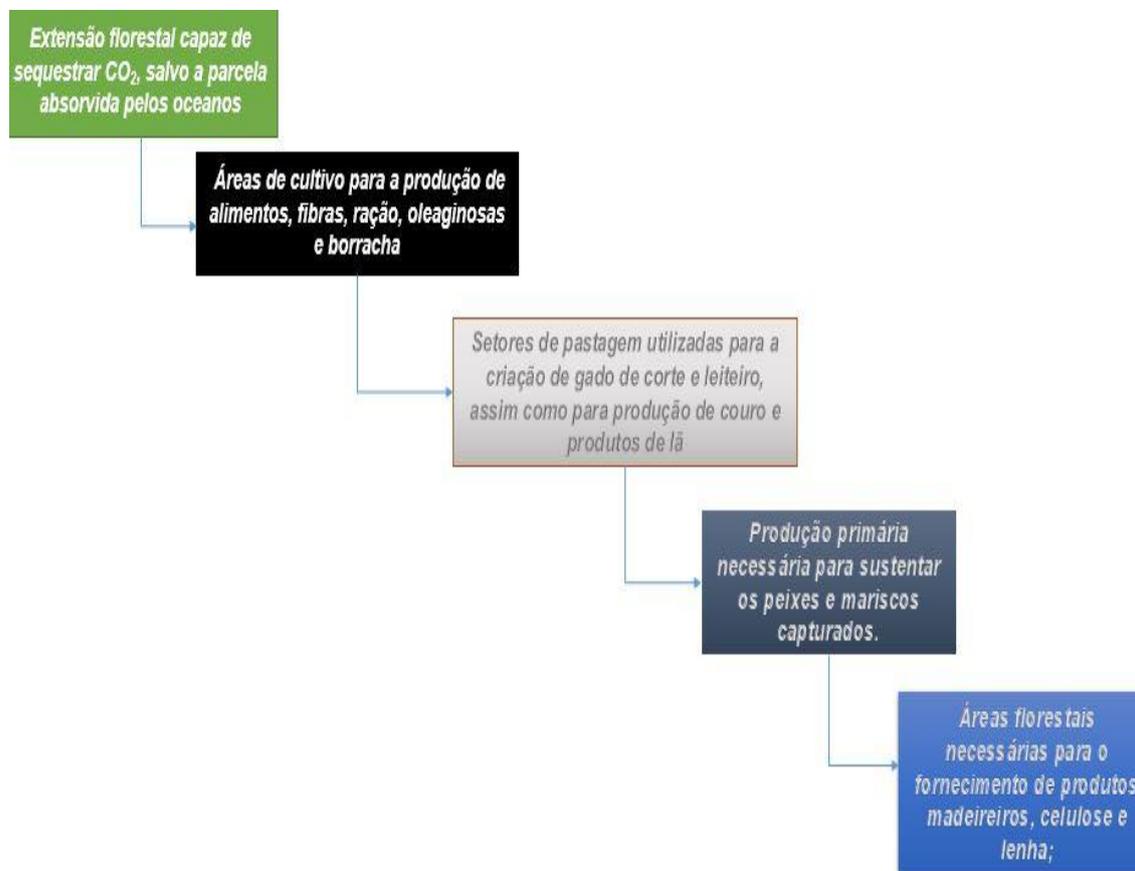


Figura 4: Desenho esquemático dos componentes de uma pegada ecológica no ano de 2020, definida pela World Wide Fund for Nature (WWF) [44]

O consumo de recursos naturais, convertido em área, faz parte do cálculo da PE, sendo uma relação entre a quantidade de água e terra utilizados, pelo total da população que os utiliza, vindo como indicador de sustentabilidade que mede o impacto antrópico sobre o ambiente [43] [45]

Por meio da PE, é possível calcular a área produtiva do terreno, de maneira dinâmica, necessária para sustentar a vida no planeta, considerando que todo indivíduo, região ou organização, ocasionam algum tipo de impacto ao meio ambiente [45].

A PE não consiste em ser uma medida exata, mas uma estimativa do impacto que a população exerce sobre o planeta, permitindo avaliar se o viver

encontra-se conivente com a resiliência dos recursos naturais, assim como a absorção dos resíduos ao longo dos anos. Oferece uma estimativa de impacto mínimo, não levando em consideração a totalidade dos impactos [46].

Ainda assim, apesar de a PE não incorporar determinadas características em suas análises, como emissões para atmosfera (salvo CO₂), ou descargas de efluentes para rios ou mares, esta consiste em um indicador que nos oferece uma imagem aproximada, clara e significativa da realidade [46].

Outra medida que deve ser levada em consideração para o cálculo da PE e mesmo para o presente projeto, é a medida de biocapacidade, a qual traduz-se como a oferta criada pela biosfera, com vistas a quantidade de terra bioprodutiva e a quantidade hídrica disponível, para munir os serviços do ecossistema presentes na sociedade, também caracterizado como o “Orçamento Biológico” [47] [48].

Portanto, o incrementar da biocapacidade (Capacidade dos ecossistemas no fornecimento de matéria biológica e na absorção dos resíduos), orientada no aumento da biomassa florestal, consiste na produção de culturas num sistema que permita recuperar áreas degradadas, visando crescer a produtividade florestal e reduzindo a perda de recursos, sendo estes um dos conceitos fundamentais para a questão da Pegada Ecológica [48].

Conforme ao exposto acima, é possível calcular o saldo ecológico (equação 6), através da diferença entre a Pegada Ecológica e a oferta da natureza, denominada de biocapacidade [49] [50].

$$\text{Saldo Ecológico} = \text{Biocapacidade} - \text{Pegada Ecológica}$$

Equação 6: Equação correlacionada a oferta gerada pela biosfera e os respectivos bens utilizados pelo homem [49] [50].

Segundo a equação acima, em caso de saldos positivos, há um excesso de biodiversidade ou reserva ecológica. Entretanto, para negativos, é apresentado um déficit ecológico, com necessidade de recuperação [49] [50]. Nesse contexto, os trabalhos relacionados a biodigestão, em paralelo ao desenvolvimento de áreas de produção agroflorestal sustentável, permite uma elevação da biocapacidade em relação a interferência humana.

É importante observar que se a pegada ecológica for menor que a biocapacidade de uma respectiva área, o local pode ser considerado sustentável, mas em caso contrário, ou seja, em caso da biocapacidade se exibir abaixo dos valores de uma PE, ocorre a chamada dívida ecológica. Esta surge quando à interferência humana excede a capacidade biológica do espaço disponível [49] [50].

Logo, concordante ao manifestado até o momento, dando uma finalização a este enquadramento conceitual e em razão de se necessitar obter um valor para pegada ecológica em nível nacional, é importante utilizar a seguinte equação (Equação 7) [49] [50]:

$$PE = \frac{P}{YN} \times YF \times EQF$$

Equação 7: Equação da Pegada Ecológica em Hectares globais. PE = Pegada Ecológica; P = Quantidade de produto produzido em toneladas; YF = Fator de produtividade para o tipo de uso de terra em estudo; EQF = Fator de equivalência para o tipo de uso da terra em estudo; YN = Produtividade de média nacional de P, em toneladas por Hectare [49] [50].

1.2. Fomento ao desenvolvimento científico

O sentimento motivacional ao qual este projeto é estruturado, encontra-se no desejo em desenvolver uma melhoria do rendimento e eficiência de sistemas energéticos e uma relação harmônica entre o ser humano e o meio ambiente, por meio de envolvimento físico, mental e afetivo com a pesquisa a que se destina.

O intenso foco em ampliar um ambiente sustentável, mantendo uma harmonia entre o sistema antrópico e o ecossistema, atrelado ao fascínio com os mais distintos assuntos e setores ambientais, faz desta pesquisa mais que um simples trabalho; algo importante e necessário em preservar as futuras gerações.

A satisfação ao desenvolvimento desta pesquisa encontra-se associado ao bem-estar da sociedade urbana e rural, por fatores que se estendem desde a redução de resíduos orgânicos, até a respectiva produção energética, seja em decorrência da inserção na rede elétrica ou pela própria geração por via térmica [3].

A apresentação de dados e informações das condições de produção e possíveis perspectivas futuras de purificação, poderão permitir parcerias com instituições, circulação de riquezas, elevação do conteúdo energético, criação de empregos, redução de resíduos descartados inadequadamente, melhoria dos solos portugueses, assim como sua respectiva remediação, entre outros [3].

Aprazível e motivada pela redução do potencial poluidor e no auxílio ao tratamento de efluentes, a biodigestão permite a melhoria da promoção tecnológica e científica de empresas e propriedades rurais, assim como na colaboração a respectivos cumprimentos de obrigações ambientais, no que concerne à preservação de um ecossistema [3].

Projetos que desenvolvam sistemas que possibilitem maiores rendimentos e eficiência de recursos energéticos renováveis e que proporcionem um expansão da biomassa florestal, atrelado a melhoria da produção agrícola, encontram-se intimamente correlacionados ao estipulado no protocolo de Quioto e segundo o qual, países membros da União Europeia (EU), tem se engajado continuamente para cumprir as respectivas metas por ele expostas [3] [51].

Ademais, países membros da União Europeia (EU) estabeleceram reduções de Gases do Efeito Estufa (GEE), relativamente ao que vinha sendo registrado desde os anos de 1990 [51]. Neste contexto, Portugal assumiu o compromisso de limitar suas emissões em 27% até o ano de 2020, não ultrapassando, portanto, os 381,95 milhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂) (Figura 5) [52].

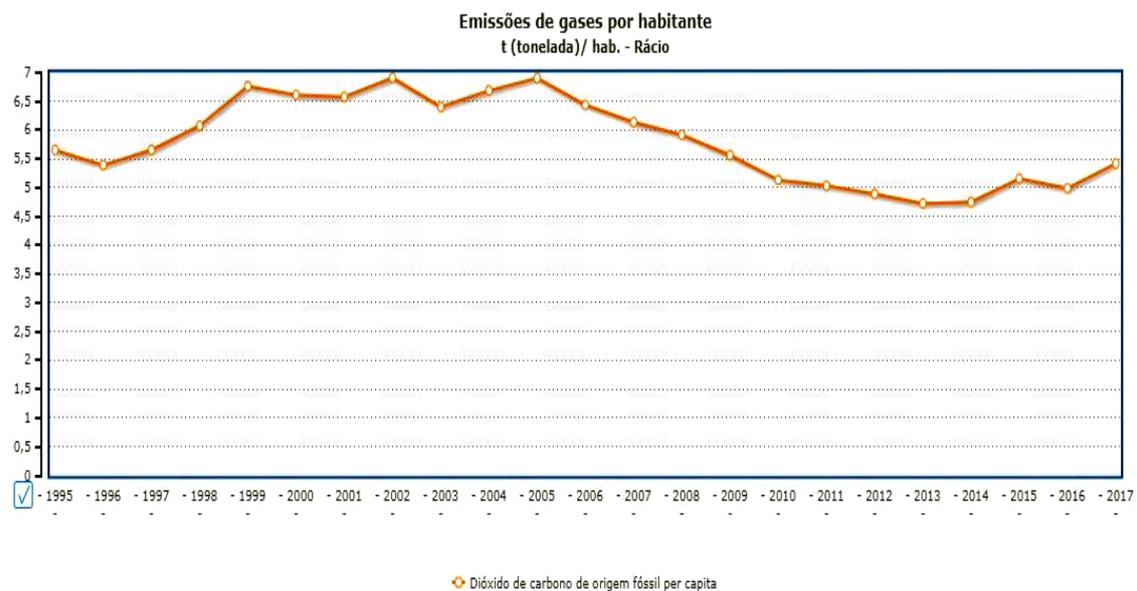


Figura 5: Representação Gráfica dos níveis de dióxido de carbono (CO₂) emitidos por combustíveis fósseis em uma razão de tonelada por habitante, entre os anos de 1995 e 2017 respectivamente [53]

Para tanto, dentre os planos criados em Portugal para redução das emissões, destacam-se o Programa Nacional para Alterações Climáticas (PNAC), o Fundo Português de Carbono (FPC), a Estratégia Nacional de Adaptação as Alterações Climáticas (ENAAC) e o Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC) [54].

O Programa Nacional para Alterações Climáticas, tinha como meta descrever uma totalidade de medidas internas e um conjunto de políticas públicas, que visassem a redução de emissão dos GEE até 2020 [55].

Já o Fundo Português de Carbono, visa a promoção de atividades para adquirir créditos de carbono, com investimento em mecanismos de flexibilidade relativos ao estipulado pelo Protocolo de Quioto [56].

Entretanto, a Estratégia Nacional de Adaptação as Alterações Climáticas (ENAAC), distribui informações e conscientiza a respeito do fenômeno das alterações climáticas, dos problemas ambientais em questão, apresentando suas respectivas medidas de controle [57].

Por fim, o Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC), tem como objetivo principal, de promover o aumento da eficiência energética, tendo em consideração o Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética (PNAEE), o qual, propicia a utilização de fontes de energia renováveis, estimulando a

realização de investimentos e investigações atrelados a economia de baixo carbono [58].

Mediante a esse quadro, Portugal define metas para alcançar os objetivos de redução dos GEE e aumento do uso de energias renováveis no país em 20% no consumo final de energia até 2020, tendo a construção desse trabalho, um caminho de colaboração ao cumprimento desta meta e de seus possíveis desígnios e perspectivas futuras [54].

1.3. Objetivo

1.3.1. *Objetivo geral*

Denotar tarefas cometidas e suas respectivas importâncias enquanto estagiário, no uso de metodologias de biodigestão e no auxílio de processos de associação Micorrízica, no tocante ao desenvolvimento de uma Área de Produção agroflorestal sustentável, para além de externar experimentos laboratoriais com vistas ao desenvolvimento de um biodigestor experimental de bancada a fins didáticos, atestando seu desempenho e respectiva análise do biogás produzido.

1.3.1.1. Objetivo específico

- Revisar trabalhos realizados durante o estágio acadêmico, assim como resultados obtidos e conclusões observadas. Comprovar a intrínseca importância da biodigestão para a confecção de uma Área de Produção Agroflorestal Sustentável.
- Demonstrar os materiais empregados para confecção do biodigestor experimental de bancada, sua devida montagem, com comprovação de seu desempenho.
- Exibir a metodologia de biodigestão quanto a produção de biogás e os parâmetros observados.
- Avaliar análises realizadas, assim como as conclusões experimentais auferidas, verificando a existência de padrões adequados uma biodigestão e porcentagem de metano proporcionada ao final do experimento.

CAPITULO II

2. PERSPECTIVA EMPRESARIAL

2.1. Aterros Sanitários: Importância e conceitos relevantes para o fomento do desenvolvimento sustentável

Antes de adentrar na importância da biodigestão a metodologias de gestão de resíduos pré-existentes, torna-se importante entender o conceito de uma das metodologias por muitos utilizada, com perspectiva empresarial. Estas principalmente a partir da gestão de seus resíduos e como tal, de apreciável relevância a uma sociedade.

Em razão disso, além do cunho acadêmico, a construção desse projeto possui também uma perspectiva empresarial corporativa, por exigir pequenos espaços para instalação, ótimos resultados e retornos para os determinados empreendimentos, fácil manutenção e de baixo custo, auxiliando nas metodologias de gestão de resíduos já existentes [3].

É importante observar alguns conceitos que auxiliam no desenvolvimento sustentável dentro de uma sociedade, devendo ser apoiado, como sugerido na Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (RIO + 20), nos pilares dos 3Rs (Tabela 2), proporcionando um ciclo contínuo autossustentável, com crescimento econômico menos consumista e mais adequado a manutenção do equilíbrio ecológico [59].

Tabela 2: Descrição conceitual dos 3Rs, exibidos na Conferência da Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), realizado no Rio de Janeiro no ano de 2012 [59].

CONCEITO	DEFINIÇÃO
REDUZIR	Significa reduzir o consumo de produtos, dando preferência aos que ofereçam menor potencial de geração de resíduos de maior durabilidade

REUTILIZAR	<p>Reuso de produtos de forma independente de sua função original, isto é, podendo ser usado em outra incumbência distinta daquela destinada após saída da cadeia produtiva.</p>
RECICLAR	<p>Consiste em concepção ampla, que engloba diversas metodologias, iniciando-se no princípio da coleta seletiva, seja nas residências ou por meio de triagem industrial, transmitindo-se pelo modo mais adequado de transporte e disposição de resíduos e finalizando-se no conceito da logística reversa, por intermédio de processos industriais ou artesanais.</p>

O princípio dos 3Rs permitem um ideal de prevenção e não geração de resíduos, associados à adoção de padrões de consumo sustentável, visando poupar os recursos naturais e conter o desperdício, economizando energia, reduzindo matérias-primas na etapa de fabrico e possibilitando a menor disposição de resíduos em aterros sanitários [60] [61].

Baseado no princípio dos 3Rs, que em Portugal, seja por companhias gestoras de resíduos ou por auxílios do governo, dentre outras metodologias, a implantação de aterros sanitários, vem sendo inserindo como uma das perspectivas promotoras dos 3Rs na sociedade, promovendo uma melhoria contínua do ecossistema ao redor [60] [61].

A primordialidade em minimizar os impactos antrópicos sobre o ambiente, exibindo soluções para disposição de resíduos recicláveis e não-recicláveis, salvo nucleares e hospitalares (Disposição e tratamento diferenciado), possibilitou a criação de Aterros Sanitários, evitando futuras contaminações, com criação de depósitos, associados a estruturas de drenagem de chorume [62] [63].

Aterros sanitários são importantes para alavancar o desenvolvimento sustentável, econômico e social, devido à elevação do contingente de resíduos sólidos e necessidade imediata de lhes proporcionar um fim distinto, daquele presente em aterros controlados ou mesmo lixões (Tabela 3) [62] [63].

Tabela 3: Definição dos conceitos de aterro sanitário, aterro controlado e lixão [62] [63].

CONCEITO	DEFINIÇÃO
LIXÃO	<p>Resíduos amontoados advindos de distintos setores, contaminando a água, ar e solo; A absorção de contaminantes no solo, proporciona a poluição das águas subterrâneas.</p> <p>São áreas de atração de vetores de doenças, como germes patológicos, moscas, mosquitos, baratas e ratos, proporcionando distintas doenças como dengue, febre amarela, febre tifoide, cólera, disenteria, entre outras.</p>
ATERRO CONTROLADO	<p>Representa uma célula remediada, com resíduos depositados de forma controlada, recebendo apenas uma cobertura de solo, sendo considerado uma categoria intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, uma vez que não possui impermeabilização, sistema de dispersão de resíduos e tratamento de chorume gerado.</p>
ATERRO SANITÁRIO	<p>Áreas de deposição de resíduos residências e industriais, com um distanciamento de 200 m de qualquer curso d' água (5 km a 20 km de dos centros urbanos), impermeabilizados, com nivelção de solo e selagem de base, associados a um sistema de drenagem.</p> <p>Resíduos sobre solos compactados, dificultando o acesso a agentes, a propagação de vetores de doenças e a entrada de oxigênio (reduz umidade do resíduo).</p>

Em Portugal a prática de utilização aterros sanitários é comum pelas empresas gestoras de resíduos, além de outras técnicas como incineração, compostagem e coleta seletiva [64] [65].

Na cidade do Porto, instituições como Lipor [66], Suldouro[67], Sotecnosol [68] e ENC Energy (Anexo 1) [69], já se encontram ao longo dos anos promovendo desenvolvimento sustentável possibilitando vantagens ao distrito, que dentre outras destacam-se, a proteção ambiental e saúde pública, destinação sanitária e adequada, eliminação de problemas sociais, estéticos e de segurança, assim como aproveitamento de biogás [70].

Os usos de aterros sanitários ainda trazem vantagens de cunho empresarial e corporativo, como implementação rápida, visibilidade por parte de patrocinadores e governo, pequenas perdas, geração energética, promoção de empregos, flexibilidade de operação, não requisição de número elevado de pessoal especializado, entre outros [71] [72].

Entretanto, a implantação de aterros sanitários, como uma metodologia de gestão de resíduos, também possui algumas desvantagens quando instalados ou operados de forma inadequada, promovendo resistências em alguns núcleos da sociedade e mesmo impactos ao meio, denotando uma metodologia adequada e importante a sociedade atual, como um sistema a ser melhorado ou substituído ao longo dos anos [71] [72].

Dentre as desvantagens exibidas pelo uso de aterros sanitários, pode-se destacar, a geração de odores desagradáveis e característicos, necessidade de extensas áreas, indispensabilidade de materiais de cobertura, grandes investimentos para implantação e manutenção, custo operacional elevado, possível inibição de políticas de redução, emissão de GEE e nocivos a atmosfera, dependência de condições climáticas e, como já comentado, oposição pública [71] [72].

Consoante a isso, os aterros sanitários ainda podem originar camadas que se interpolam ao nível topográfico original, formam verdadeiras montanhas artificiais e instáveis, alterando a paisagem, inutilizando grandes áreas em locais valorizados e próximos a cidades (utilizados apenas para cobertura verde), além

de bolsões de gases e condições de deslizamento, que podem ser ocasionados por materiais plásticos não biodegradáveis [71] [72].

Assim, aterros sanitários sustentam o compromisso com o documento gerado na conferência RIO+20, como medida inicial, posto que seu uso, mesmo com possíveis desvantagens, promove o princípio da reciclagem. Nesse sentido, a biodigestão pode atuar reduzindo os potenciais impactos ou suprimindo-os, uma vez que possui um perfeito alinhamento com suas operações ou na substituição de suas atividades a longo prazo [73] [74].

Relativamente aos conceitos que auxiliam no melhoramento da metodologia de aterros sanitários, que, por conseguinte, ao longo dos anos, ocorreu a evolução da concepção relativa aos 3Rs, a convertendo para a ideia dos 5Rs, promovendo mudanças comportamentais, aprimorando a qualidade de vida, a preservação e a consciência ambiental [75] [76].

Em associação com a gestão ambiental, os 5Rs vem objetivar uma mudança de uma consciência social individual para o coletivo, através de um processo educativo, com a alteração de hábitos da sociedade [75] [76].

Como uma mudança nos valores e práticas, a nova política dos 5Rs apresenta os conceitos de **repensar, reduzir, recusar, reutilizar e reciclar**, sensibilizando o indivíduo as questões ambientais e incorporando governos, instituições e organizações, com auxílio da gestão ambiental, a fomento da redução de resíduos nos espaços urbanos e rurais [75] [76].

Com apenas duas novas concepções, o **repensar** e **recusar**, o princípio dos 5Rs, proporcionam, dentre outros benefícios, a geração de renda, diminuição da exploração de recursos naturais, proteção e manutenção da natureza, consumo energéticos atenuados, encolhimento dos gastos de produção, ampliação da vida útil dos produtos, produtos com valores reduzidos e prolongação da vida útil para os aterros sanitários [75] [76].

Repensar traduz-se em hábitos de consumo e descarte, compreendendo a importância do produto pré-consumo, praticando coleta seletiva pós-uso, evitando desperdícios, usando produtos biodegradáveis, recicláveis, embalagens de papel e papelão, assim como lâmpadas econômicas e pilhas recicláveis ou alcalinas [75] [76].

Entretanto, recusar reside em rejeitar o uso de produtos que venham a prejudicar o meio ambiente e a saúde humana, evitando atitudes como, o excesso de sacos plásticos e embalagens, aerossóis e lâmpadas fluorescentes, bem como produtos e embalagens não recicláveis [75] [76].

Logo, o emprego de ambas ideias, seja dos 3Rs [73] [74] ou dos 5Rs [75] [76], corroboram para a melhoria contínua das metodologias de gestão de resíduos, como a do uso de aterros sanitários, prolongando além de sua vida útil, a elevação da eficiência de seus sistemas de operacionais pela redução de carga de resíduo [75].

Contudo, resultados provenientes de conceitos estipulados pela Rio+20 e por sua respectiva evolução, são resultados auferidos a longo prazo, por meio de uma mudança na consciência ambiental de uma sociedade, com vistas a disposição final do resíduo, além da reestruturação urbana e rural referentes a sua gestão. [64] [77].

Ainda assim a elevação do contingente de resíduos ao longo das décadas, sejam orgânicos ou não, demandam uma forma imediata de disposição e tratamento, principalmente no que se concerne a resíduos indiferenciados (não exibem ainda tecnologias e metodologias de reciclagem), não contaminando assim, a atmosfera, os solos e os recursos hídricos subterrâneos e superficiais [78] [79].

Desta forma, a opção de instalar aterros sanitários nos centros urbanos, em localizações distintas a lençóis freáticos, com a tecnologia (Tabela 4) [80] [81] adequada de operação e manutenção de seus sistemas é, hodiernamente, uma solução plausível na disposição final dos resíduos [82] [83].

Tabela 4: Sistemas operacionais de um aterro sanitário [80] [81].

SISTEMAS	FINALIDADE
SISTEMAS DE DRENAGEM	<p>Consistem nos sistemas de drenagem de chorume (encaminhamento deste a tratamento e sua posterior devolução ao ecossistema sem riscos de contaminação), sistemas de drenagem de gases de síntese e sistemas de drenagem de águas pluviais.</p>
CAMADA DE POLIETILENO DE ALTA INTENSIDADE	<p>Representa um material impermeável, proporcionando uma barreira contra agentes contaminantes.</p>
CAMADA DE SOLO	<p>Todos os resíduos são cobertos por uma camada de solo de argila, compactados para impedir a entrada de oxigênio e a correta decomposição do resíduo.</p>
REDES DE MONITORAMENTO	<p>Permitem o controle dos tipos de resíduos que chegam ao aterro, as pessoas que ali transitam, as condições das células de impermeabilização, assim como emissão de gases e percolação pluvial.</p> <p>São constituídas por monitorização por câmeras em prédios administrativos, cercados, guarita e oficina</p>

2.2. Aterros sanitários & Sistemas de Biodigestão

No entendimento de que a evolução da ciência e da tecnologia estarem associadas a um grupo interdisciplinar de conceitos científicos e tecnológicos, para o crescimento de um ambiente mais sustentável, a atuação de metodologias e técnicas de gestão de resíduos tornou-se necessária [78] [79].

Portanto, o uso de aterros sanitários, assim como demais procedimentos, aplicados por empresas gestoras de resíduos em Portugal e mesmo no distrito do Porto, virão aperfeiçoar suas metodologias de gerenciamento, proporcionando um aprimoramento de sua eficiência, rendimento energético e econômico, por meio do uso de sistemas de biodigestão e aqueles que visem a biometanização [84].

Relativamente a purificação, esta auxiliará, como um processo pós biodigestão, em elevar a eficiência e rendimento energético, para além da proteção dos equipamentos e do ecossistema, em razão de determinados gases que possam vir a ser emitidos na composição química do biogás, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), promovendo a então denominada biometanização ($\geq 95\%$ de metano) [70] [84].

Já a elaboração de sistemas de biodigestão, fomentam o progresso ambiental e social do país, com aplicação de processos e tecnologia ao mercado, de baixo custo e com respectiva rapidez de instalação [3] [85], assim como fluxo contínuo dos procedimentos operacionais e auxílio aqueles já utilizados atualmente pelas instituições do país [70].

Consequentemente, em decorrência do conceito de sustentabilidade ser um ideal que careça, constantemente, de melhorias tecnológicas e industriais, para harmonizar a convivência do homem com o ecossistema [86], reduzindo cada vez mais os impactos ao meio ambiente, que em Portugal, a inserção de sistemas de biodigestão possibilitam ainda mais o compromisso do país com o estipulado no documento da Rio+20 [3] [64].

O uso de novos sistemas que visem uma biodigestão, proporcionará a promoção dos processos energéticos, econômicos e industriais, das companhias gestoras de resíduos, além de um ambiente saudável e com melhores condições de vida a sociedade [88] [89].

Biodigestores, sejam de bate (introdução do resíduo a cada 60 dias) ou de fluxo contínuo (inserção dos resíduos diariamente ou num período de 3 dias) e mesmo de processos de biometanização [3], proporcionam a inclusão de conceitos que fomentam o desenvolvimento sustentável do país [89], com respectiva diminuição de resíduos dispostos em aterros sanitários e promoção de uma visibilidade global [87].

Desse modo, a aplicação de aterros sanitários em paralelo aos demais sistemas operacionais, agregados à biodigestão, e mesmo processos de purificação associados, tem sido uma inovação em procedimentos de gestão de resíduos, possibilitando um crescimento do rendimento de cunho energético e econômico para as instituições que as utilizam [90] [91].

A biodigestão, também se enquadra nos moldes do conceito da reciclagem [92], o qual, como já comentado anteriormente, viabiliza a redução de resíduos sólidos orgânicos, seja em aterros ou na sociedade, propiciando sua triagem dos demais resíduos e retorno à cadeia produtiva, como forma de energia ou mesmo de fertilizante biológico [93].

Em virtude do crescimento da produção agropecuária, com elevação do contingente de resíduos orgânicos, produzidos em quantidades maiores que o aporte das áreas rurais portuguesas, atrelado ao desperdício de alimento (97 Kg hab/ano, onde 31% são consumidores) [94], que a aplicação da metodologia de biodigestão torna-se uma solução viável para oferecer um destino final a este tipo de resíduo [95] [96].

Assim como demais países da Europa, Portugal investe em tecnologias e pesquisas em sistemas de biodigestão (6,4 milhões de euros, sendo 4% do Produto interno bruto), realizando um aproveitamento energético e melhoramento de seus solos ($2 \leq \text{pH} \leq 3$) [97] [98].

Nesse sentido, os fertilizantes biológicos gerados nos biodigestores, proporcionam seu pH a neutralidade, provendo-os, dentre outros aspectos, de nutrientes fundamentais ao crescimento da biomassa florestal e vegetal [21] [22].

Uma vez que a produção de biofertilizante é gerada na mesma razão hídrica na câmara de fermentação, elevadas quantidades de biofertilizante podem ser produzidas, proporcionando um desenvolvimento de biomassa florestal ou

vegetal através do uso em processos de reflorestamento ou agrícolas respectivamente, por parte das instituições ou mesmo de seu desenvolvimento econômico, em razão de sua venda [33] [34].

Tanto o biogás emitido pelos biodigestores, quanto por aqueles produzidos por aterros, pode vir a proporcionar aproveitamento energético, seja pela conversão em usinas termoelétricas ou pelo seu simples uso por via térmica, como, dentre outros, lampiões e/ou banhos marios [3].

Como uma perspectiva pós-produção de biogás, o desenvolvimento futuro de pesquisas e projetos voltados a purificação do mesmo podem ser considerados, de forma a elevar os níveis de metano, alcançando a biometanização. Dentre os diversos sistemas atualmente existentes para tal fim, pode-se citar o uso de reatores de microalgas [99] [100].

A despeito do projeto não prever metodologias de purificação de biogás, é importante considera-las quando há referência a sistemas de produção de gases de síntese, pois vem a corroborar no melhoramento de seus sistemas. Conseqüentemente, o uso de microalgas em Fotobiorreatores, por exemplo, para além da purificação, possibilita uma produção de biodiesel [101] [102].

Conseqüentemente, biodigestores tornam-se um processo de associação relevante a aterros sanitários, dispondo, dentre outros benefícios, aumento de sua vida útil, pela redução de resíduos orgânicos, para além da geração energética e produção de matéria prima [103]. Esta última, com possibilidade de uso em sistemas automotivos e/ou agricultura [3]. Porém, é fundamental uma abordagem sobre o impacto econômico proporcionado as instituições [104].

Importante lembrar que aterros sanitários demandam estudos de planejamento ambiental e urbano, além dos impactos ambientais e relatórios ambientais (EIA/RIMA) mais extensos do que os desenvolvidos para sistemas de biodigestão [105] [106], de forma a compreender não só os aspectos de produção de resíduos, mas também informações sobre a área que tal estrutura deva ser instalada [107].

2.3. Aspectos econômicos de implantação de Aterros e Sistemas de biodigestão

Inicialmente se faz necessário a obtenção de estudos, projetos e planejamentos na etapa de pré-implantação. Apesar sistemas de biodigestão exibirem valores na concepção de projeto menores em comparação com aterros sanitários [108], não se pode eximir a importância de cada uma das metodologias, as quais, como previamente expostas, denotam relevâncias características [106] [107].

Normalmente o custo de implementação de aterros sanitários, advém do entendimento da quantidade de resíduos sólidos que serão acomodados em sua estrutura, sendo, portanto, divididos em 4 classes de aterros sanitários (Tabela 5), considerados **grandes (2000 t/dia)**, **médios (1000 t/dia)**, **pequenos (500 t/dia)** e **reduzidos (100 t/dia)**, conforme denotado na tabela a seguir [108] [109].

Tabela 5: Classificação dos aterros sanitários, referente ao contingente de resíduos que o mesmo pode vir a receber e o respectivo Investimento para sua criação, desde a sua pré-implantação, até procedimentos de pós-encerramento [108] [109].

TIPO/CLASSIFICAÇÃO	2000 T/DIA	1000 T/DIA	500 T/DIA	100 T/DIA
PRÉ-IMPLEMENTAÇÃO	4065,461 €	2032,730 €	1355,153 €	608,087 €
IMPLEMENTAÇÃO	18169,781 €	9084,890 €	6056,593 €	2669,14 €
OPERAÇÃO	461494,05 €	230747,03 €	153831,4 €	45468,2 €
ENCERRAMENTO	6488,89 €	3244,44 €	2162,96 €	486,66 €
PÓS-ENCERRAMENTO	35575,984 €	17787,992 €	11858,66 €	3212,35 €
TOTAL	525794,17 €	262897,08 €	175264,7 €	52444,5 €

Mediante a uma análise a tabela 5, é perceptível que o capital inicial de instalação está diretamente relacionado com a quantidade de resíduo a qual a estrutura suporta, exigindo recursos maiores nas etapas de operação, o que pode ser explicado com vistas a inevitabilidade de uma equipe especializada [108] [109]

As etapas de encerramento e pós-encerramento, são imprescindíveis para evitar impactos ao ambiente, em fim de vida útil dos aterros e elaboração de projetos de crescimento da biomassa florestal respectivamente, através, dentre outros, dos projetos de paisagismo, planejamento ambiental e reflorestamento, de forma as aprimorar para uso coletivo, gerando um custo maior que as etapas de pré-implementação e implementação unidas [110] [111].

É também notável, na tabela 5, a presença de um relevante capital para a concepção de um aterro sanitário, mesmo aqueles que são **reduzidos (100 t/dia)**, não sendo, portanto, acessível à população, apenas para o uso de cunho empresarial [108] [109].

Posteriormente, analisando graficamente a tabela 5 (Gráfico 1), observa-se que a importância de investimentos referentes a extensão de sua vida útil, não somente para prevenção de possíveis acidentes por vazamento, em razão do aumento de resíduos sólidos, mas também por motivos de cunho econômico-financeiro, posto que investimentos extras em remediação de impactos ambientais, tornam a utilização desta metodologia consideravelmente onerosa [108] [109].

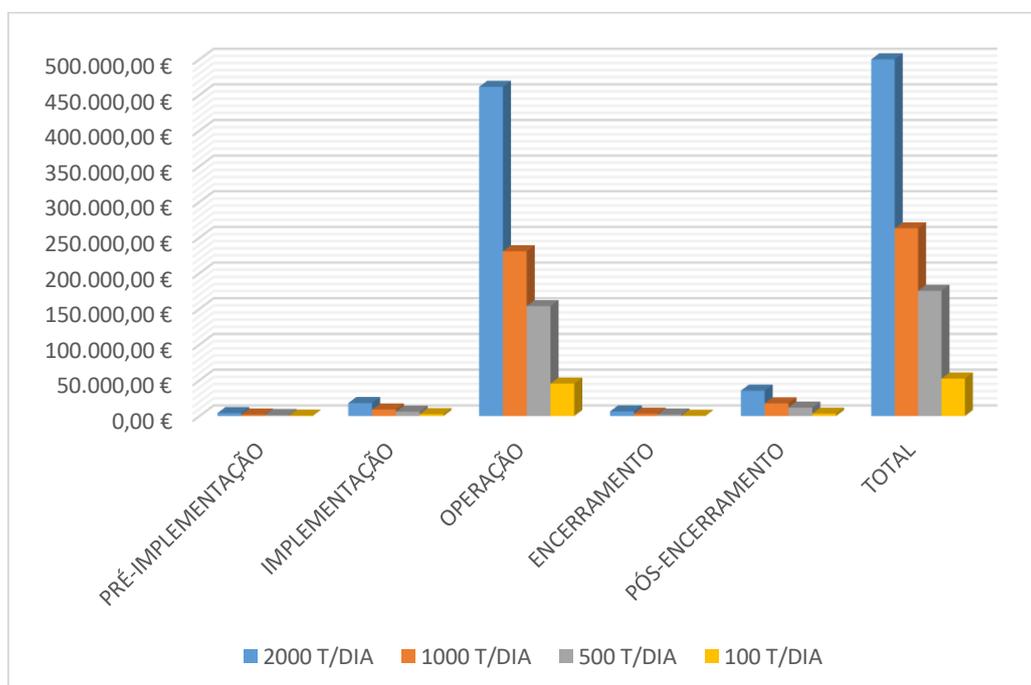


Gráfico 1: Representação Gráfica do capital necessário para instalação das respectivas classes de aterros sanitários, de acordo com o exposto na tabela 5, com representação da disposição máxima de resíduos que estes podem acomodar [108] [109].

Para que tais projetos de engenharia sejam econômico e financeiramente viáveis, é importante um retorno, sendo plausível o uso de aterros sanitários em associação com outros sistemas [112] [113], permitindo o prolongamento de seu uso, além de demais vantagens, de caráter ambiental e socioeconômico, como recuperação de áreas degradadas, melhoramento de solos, desenvolvimento energético, geração de renda, entre outros [114] [115].

A tabela a seguir (Tabela 6), com valores referentes ao ano de 2019, os exibe para fins de instalação e operação de três biodigestores [116] [117], sendo possível confirmar que sistemas de biodigestão necessitam um menor capital para sua concepção, principalmente devido sua finalidade, o contingente e tipo de resíduos recebido, [118] [119].

Tabela 6: Tabela dos capitais para concepção de biodigestores de distintos volumes [116] [117].

BIODIGESTOR /VOLUME	20 m ³	40 m ³	60 m ³	80 m ³	100 m ³	120 m ³
INDIANO	30396 €	42600 €	56640 €	68826 €	74916 €	85074 €
CHINÊS (BATE)	24318 €	34074 €	45312 €	55062 €	60486 €	74556 €
CANADENSE	12624 €	18972 €	25128 €	31284 €	37440 €	43596 €

Já se foi argumentado que um aterro sanitário é relevante no mundo atual e que esta mesma metodologia produz o gás biológico, com aproveitamento energético, acondicionamento de resíduos sob e sobre mantas impermeáveis e camadas de argila, onde chorume é canalizado para tratamento e posteriormente devolvido ao ambiente [82] [83].

Todavia, sistemas de biodigestão produzem biogás na mesma proporção ou em proporções maiores, considerando o volume e a quantidade de resíduos inserida na câmara de fermentação, com produção de biofertilizante de igual proporção a quantidade hídrica inserida no biodigestor, como demonstrado na tabela a seguir (Tabela 7) [3] [89].

Tabela 7: Dimensionamento para instalação e operação de biodigestores no município do Rio de Janeiro para produção energética as escolas do município e uso do biofertilizante como metodologias de fomento ao paisagismo

PARAMETROS	VALORES	UNIDADES
QUANTIDADE TOTAL DE RESÍDUOS	9,227	T/dia
NUMERO TOTAL DE ESCOLAS	1540	Adimensional
QUANTIDADE DE RESÍDUOS PRODUZIDOS PELAS 16 ESCOLAS	95,86	Kg
Vazão Média	191,73	L/dia
TEMPO DE DETENÇÃO HIDRAULICA	30,00	dias
VOLUME DO REATOR	5,75	m³
ALTURA DO REATOR	2	m
ÁREA DO REATOR	2,88	m²
COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (REFERENTE A RAZÃO ENTRE LODO E ÁGUA RESIDUÁRIA)	0,21	Adimensional
COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (REFERENTE A RAZÃO ENTRE SST E ÁGUA RESIDUÁRIA)	0,18	Adimensional
CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA O LODO DE DESCARTE	0,04	Adimensional
DESIDADE DO LODO ANAERÓBICO	202	Kg/m³
CICLO DE OPERAÇÃO DOS LEITOS	1	dias
TAXA DE APLICAÇÃO DOS SÓLIDOS NO LEITO (ADOTADO PARA O REATOR EM QUESTÃO)	20	Kg SST/m²
NÚMERO DE LEITOS DE SECAGEM	3	Adimensional
DIAMETRO DOS TUBOS DE DISTRIBUIÇÃO	5	m
DISTANCIA ENTRE O LOCAL DE SAÍDA DO RESÍDUO E O FUNDO	2	m
CONSTANTE UNIVERSAL DOS GASES IDEAIS	0,082	Atm L/mol K
TEMPERATURA DO MÊS MAIS FRIO	291	K
DQO DA ÁGUA	375	Kg/L
CARGA ORGANICA	0,51	Kg DQO/dia
DIAMETRO	1,08	m²
CARGA ORGÂNICA VOLUMÉTRICA POR MÓDULO	0,089	Kg DQO/m³*dia
CARGA HIDRAULICA VOLUMÉTRICA POR MÓDULO	1,39	(m³/m³)*dia
VELOCIDADE MÉDIA SUPERFICIAL	66,67	m/dia
ESTIMATIVA DA DQO DA ÁGUA RESIDUÁRIA (50%), PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO	187,5	Kg/L
CARGA DE DQO REMOVIDA E CONVERTIDA EM METANO	28400	Kg/dia
FATOR DE CORREÇÃO	0,07	m³/Kg
VAZÃO DE METANO	405714	Kg/dia
VAZÃO DE BIOGÁS (90% DE METANO PRESENTE NO BIOGÁS)	450793	Kg/dia
VOLUME DO BIOGÁS GERADO (DIARIAMENTE)	5259,26	m³
QUANTIDADE DE ENERGIA GERADA PELO BIOGÁS	34185,17	Kwh
PRODUÇÃO DE LODO	6471	Kg/dia
VOLUME DO LODO	801	m³/dia
MASSA DO LODO RETIDA NO REATOR	6471	Kg SST
VOLUME DE LODO RETIRADO NO CICLO DE OPERAÇÃO	800,85	m³
ÁREA NECESSÁRIA PARA OS LEITOS	323,54	m²
ÁREA POR LEITO DE SECAGEM	107,85	m²
LARGURA DO LEITO DE SECAGEM (B)	7,3	m
COMPRIMENTO DO LEITO DE SECAGEM (L)	14,69	m
ALTURA DA LAMINA DE LODO	2,5	m
ÁREA TOTAL DOS TUBOS DO REATOR	70,65	m²
BIOFERTILIZANTE	191,73	L/dia

De acordo com a Tabela 7, biodigestores com uma altura em torno de 2m, ocupando uma área de aproximadamente 3 m² e um diâmetro ao redor de 1m, conseguem proporcionar cerca de 192 L por dia de biofertilizante, este podendo ser condicionado e inserido em espaços agrícolas ou utilizado para o desenvolvimento sustentável da flora [120] [122].

Cada biodigestor, conforme o dimensionamento acima, apresenta uma produção de aproximadamente 5259 m³ de biogás, tendo cada 1 m³, a geração de 6,5 Kwh de energia, equivalendo a aproximadamente 34185 Kwh de produção energética, permitindo, portanto, um fornecimento energético as respectivas escolas, a um montante de aproximadamente 6185 Kwh, considerando seu gasto, referente a 4 escolas, equivalente a 28000 Kwh [120] [122].

Biodigestores reduzem o contingente de material orgânico sobre os aterros, não contaminam o lençol freático, minimizam o capital inicial em relação aos demais processos, não gera chorume, etc. Seu uso reduz custos de instalação e operação dos aterros sanitários, uma vez que se os resíduos orgânicos forem encaminhados a biodigestores, não haverá gastos com tratamento do chorume [103] [104].

Como perspectiva final, os sistemas de purificação podem ser usados tanto para o biogás, gerado em aterros, quanto o de biodigestores, uma vez que apenas se faz necessário entender a quantidade deste gás biológico, produzida por ambas as metodologias e o processo de biometanização pode ocorrer independente de qual metodologia esteja sendo aplicada [103] [104].

Logo, os custos dos sistemas de purificação variam dependendo daquele escolhido para ser instalado. Filtros em série de purificação (Figura 6), por exemplo, possuem valores iniciais de 2700 euros, este dependente da quantidade de gás produzido e do tamanho necessário e relativo em relação a metodologia que está sendo aplicada para produção de gás de síntese [120] [121].

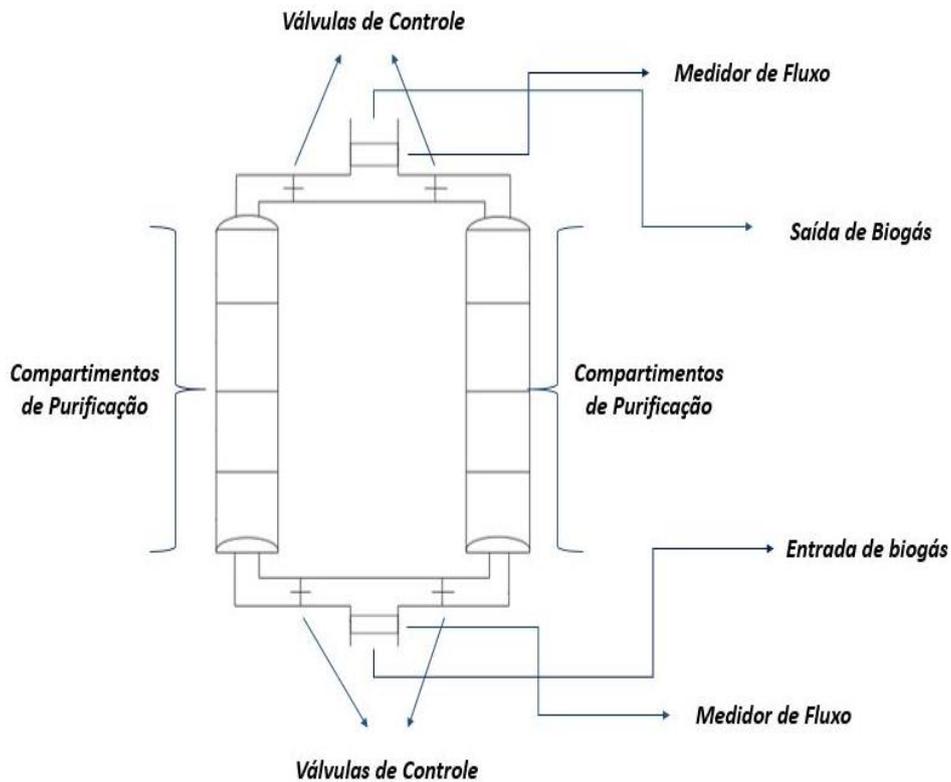


Figura 6: Desenho esquemático de um sistema de filtros em série para purificação de biogás [3].

O equipamento representado pela Figura 6, exibe para além de um custo reduzido, uma simplicidade e praticidade de operação, denotando filtros cilíndricos em série para purificação de biogás, conectados por rotas, duas referentes a entrada de gás biológico e duas correlacionando-se a saída do mesmo.

Como critérios de funcionalidade, o equipamento expõe um sistema de purificação capaz de reduzir sulfeto de hidrogênio (H_2S) e dióxido de carbono (CO_2) da composição química do Biogás, alcançando, segundo experimentações laboratoriais, percentuais de metano equivalente a 95% ou mais em sua estrutura, sendo este, portanto, dotado de aspectos funcionais únicos, específicos e inovadores, tornando-se num produto exclusivo no mercado.

CAPITULO III

3. ESTADO DA ARTE

3.1. Contexto histórico da biodigestão

Apesar do conceito da biodigestão ser compreendido desde o século XVIII, sua utilização decorre em meados do século XIX, com a finalidade de produção de gás biológico para combustível [122] [123].

Por meio da observação dos gases que eram emanados por pântanos confinados, devido a decomposição de dejetos, que Alessandro Volta, em 1776, após uma série de experimentos, descobriu a presença de um gás inflamável que continha em sua composição o metano [122] [123].

Já em 1800, Louis Pasteur vislumbrou pela primeira vez a possibilidade de utilizar o gás biológico para sistemas de aquecimento e iluminação urbana, onde 6 anos após, em 1806, Humphrey Davy atestou a existência de dióxido de carbono e seus possíveis riscos [122] [123].

Por conseguinte, foi apenas em 1857, em Bombaim, na Índia, que houve oficialmente a instalação do primeiro biodigestor, oferecendo bases teóricas e experimentais para a contextualização da digestão anaeróbia. A partir desta inovação, o conceito da biodigestão foi difundido ao longo das décadas e em 1939, foi criado em Kampur, Índia, o Instituto de Gás e Esterco (IGG) [122] [123].

O Instituto de Gás e Esterco, também conhecido como Institute Gobár Gás, fora sede da primeira usina de gás de esterco, recebendo dejetos animais para produção de biogás e geração de biofertilizante. Sua criação providenciou a construção de mais de um milhão de biorreatores na Índia e incentivou a China a adotar a mesma metodologia nos anos de 1958 [122] [123].

Com a crise energética em 1973, o estudo e implantação de biodigestores se tornou atrativo, mas seu constante uso ocorreu através da Índia e China. Este último, os desenvolveu inicialmente por questões militares, devido ao medo de que um ataque nuclear pudesse interromper seu processo industrial. Contudo, com o passar dos anos, sua utilização voltou-se a fins agrícolas [122] [123].

Na América do Sul o biogás teve início a partir dos anos 70 e no Brasil, em especial, decorreu durante a crise do petróleo [123] [124].

Somente em 1979 foram construídos os primeiros biodigestores no Brasil, sobre o contexto do Programa de Mobilização Energética (PME), com objetivo de estimular a construção de biodigestores no setor rural, os instalando na região sul, sudeste e centro-oeste [124]. Contudo, apesar dos estímulos, tal projeto foi abandonado, devido à falta de informações e treinamento, sendo apenas retomado nos anos 2000 [125].

Em 2000, no Brasil, com o surgimento do mercado de créditos de carbono, houve um incentivo a retomada para instalação de biodigestores, em especial em propriedades rurais com criação de suínos de médio e grande porte, de forma a produzir biogás para fins de combustão [125] [126].

Originalmente, em Portugal a instalação de biodigestores, ocorreu em Estações de Tratamento de Águas Residuárias (ETAR), que apesar de ter sido uma metodologia pouco difundida no país, era aplicada em escala industrial [126].

Atualmente centrais energéticas de biomassa já se encontram em funcionamento em Portugal, principalmente pelo uso de biodigestores, que apesar de ser uma tecnologia recente no país, em comparação ao demais, tem se difundido e encontrado boas perspectivas desde os anos de 2015 [126].

3.2. Conceito de Biodigestores

Sendo equipamentos herméticos e impermeáveis, receptores de resíduos orgânicos, os biodigestores (Figura 7) são utilizados a décadas para fermentar anaerobicamente tais resíduos [125] [126], dentro de um determinado tempo de detenção, gerando produtos de mistura gasosa, com maiores percentuais aqueles referentes ao dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄) [3].



Figura 7: Imagem cedida pela companhia SOTECNOSOL, referente a um gasômetro conectado a um biodigestor de batelada (BATE) no ano de 2020 [127].

Para tanto, a biodigestão anaeróbica, como parte de um processo bioquímico, propicia um ambiente favorável para que as Arqueas Metanogênicas, em associação com as bactérias Hidrofílicas, Acidogênicas e Acetogênicas, possam atuar sobre os resíduos orgânicos, através de uma rota biológica definida, possibilitando, portanto, uma eficiente produção de gás biológico [125] [128].

Um ambiente favorável a uma boa biodigestão, permite a proliferação de bactérias na câmara de fermentação de um biodigestor, sobre critérios de temperatura, pH, razão de diluição e uma correta relação de carbono/nitrogênio de biomassa [125] [128].

Com vista a estrutura do biodigestor, este pode ainda ser de fluxo contínuo ou de batelada [3] com a presença de uma câmara de fermentação, onde será inserido o resíduo e o gasômetro para armazenamento do gás biológico [128].

Os biodigestores contínuos (Figura 8) compreendem em uma tecnologia anaeróbica com acréscimo diário ou no máximo a cada três dias de resíduos [3], para seu adequado funcionamento, isto é, uma apropriada produção de biogás e biofertilizante, com tempo de detenção variando, em média, de 30 dias [128] [129].

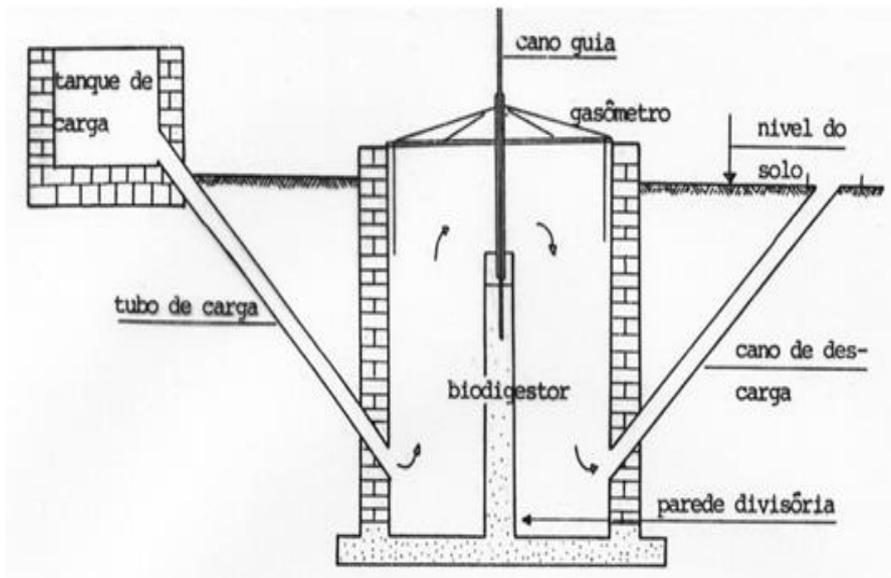


Figura 8: Figura esquemática de um biodigestor indiano de fluxo contínuo [3].

Nos biodigestores contínuos, o tanque de carga recebe os resíduos, enquanto o de descarga, disponibiliza o rejeito [3] [129]. O gasômetro possui uma estrutura móvel, que permite sua movimentação à medida que o biogás é produzido [3] [129]. A câmara de fermentação possui duas sessões, separadas por uma divisória, dependendo do biodigestor, com um mecanismo de circulação, para que o resíduo se mantenha homogêneo [129].

De forma a receber apenas resíduos orgânicos de origem animal, algumas centrais de biodigestão, utilizando biodigestores contínuos, como um processo anterior a chegada do resíduo ao tanque de carga, instalam estruturas de concreto quadriculares, com grelhas ao centro, para que resíduos, como folhas ou mato, sejam impossibilitados de adentrar nos biorreatores [129] [130].

Contudo, em se tratando de biodigestores de batelada (Figura 9), a inserção de resíduos não deverá ocorrer diariamente, de forma a haver uma produção pertinente de biogás, com tempo de detenção variando, em média, de 60 dias. Posteriormente, 80% do rejeito é utilizado como biofertilizante e 20% é empregado como inóculo para próxima batelada [3]

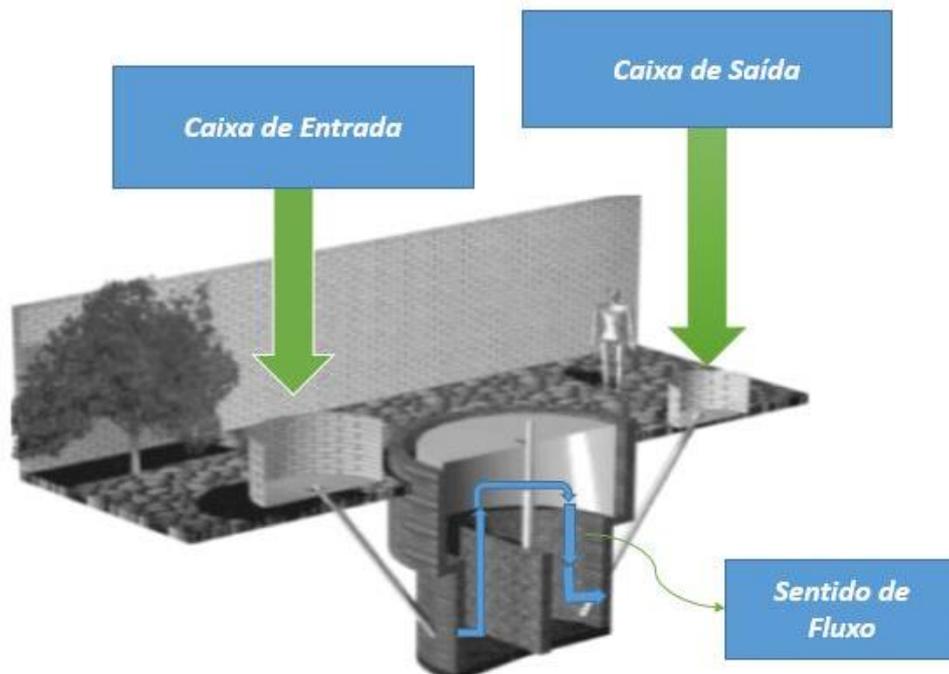


Figura 9: Representação esquemática de um biodigestor de batelada. Biodigestor semelhante a um modelo chinês de fluxo contínuo baseado nas necessidades do produtor. Incomum ao uso na gestão de resíduos sobre um sistema de batelada, mas possível de ser projetado [3].

Os biodigestores de batelada geralmente são enterrados ao solo, de forma a manter uma temperatura adequada de biodigestão. Alguns podem vir a exibir banho termostático [130] [131].

É notável também a existência de uma estrutura metálica vertical móvel em um biodigestor de batelada (Figura 10), permitindo uma mobilidade do gasômetro [131]. Neste tipo de biodigestor, assim como em alguns modelos de fluxo contínuo, divisória de concreto são encontradas nas câmaras de fermentação, assim como caixas de entrada para resíduos e saída para rejeitos [130] [131].

A construção de caixas de entrada e saída depende da necessidade de cada produtor [131]. Originalmente, o uso dessas estruturas ocorreu em biodigestores indiano e chinês, mas sua adoção se torna imprescindível, quanto a facilidade de inserção do resíduo [128] [129]. Logo, como critérios de construção, pode haver dois tipos de biodigestores de batelada, com ou sem tais estruturas [131] [132].

Comumente nota-se com uma maior frequência o uso de biodigestores de batelada com apenas com caixa de saída, para facilitar a retirada do resíduo após 60 dias, todavia seu uso ainda é restrito as primordialidades de cada produtor [132].

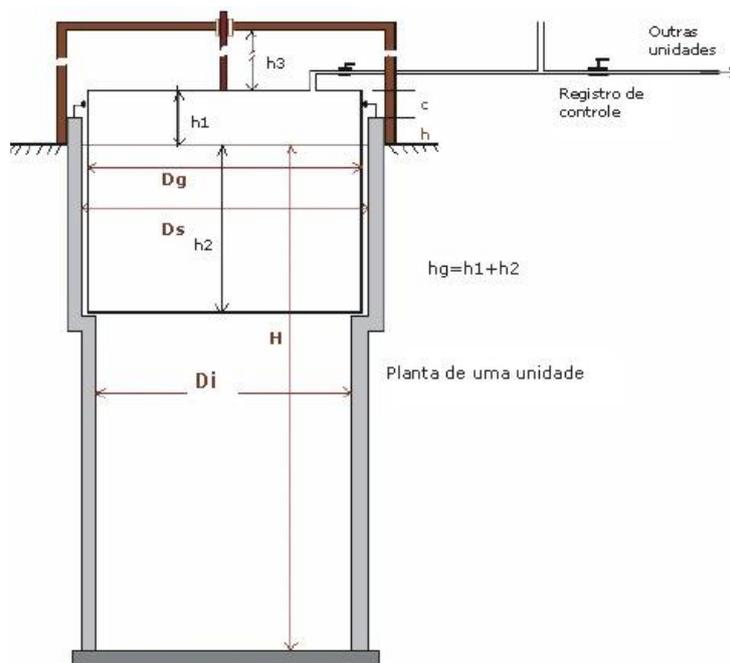


Figura 10: Desenho esquemático de um biodigestor de batelada sem a existência de uma caixa de entrada e caixa de saída. Tipos de biodigestores de batelada (Bate) comumente utilizados. D_i = diâmetro interno; D_s = diâmetro parede superior; D_g = diâmetro do gasômetro; h_1 = altura ociosa do gasômetro; h_2 = altura útil do gasômetro; h_3 = altura útil para deslocamento do gasômetro; b = altura da parede do biodigestor acima do substrato; c = altura do gasômetro acima da parede do biodigestor [133].

Com um sistema simples e com reduzida complexidade operacional, a instalação pode ser realizada por meio de uma ou várias câmaras de fermentação, sendo, como já comentado, abastecido em um único instante, tendo o rejeito recolhido após o encerramento da emissão de biogás [132] [134].

O uso de biodigestores de batelada é decorrente quando a produção de resíduos ocorre por longos períodos de tempo. Em alguns biodigestores de batelada há a instalação de bombas peristálticas, de forma a criar um vácuo no interior da câmara de fermentação, reduzindo assim a pressão e forçando a saída do metano retido entre os respectivos resíduos [135].

A eficiência de cada biodigestor, está intimamente ligada às condições de temperatura ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $35,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), tempo médio de detenção (entorno de 30 dias ou 60 dias), quantidade de resíduo, razão de diluição (1:2), tipo de resíduo e pH ($6 \leq \text{pH} \leq 8$) [3].

Atualmente há diferentes tipos de biodigestores, adaptados as condições socioeconômicas, políticas, ambientais, dos custos de produção e de sua destinação com base nas reais necessidades de um povo [3].

Dentre os modelos de biodigestores, destacam-se: Indiano, chinês, canadense, o Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente (DAFA) ou Up flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), como biodigestores de fluxo contínuo e aqueles referentes aos de Batelada [3].

3.2.1. Biodigestor Indiano

Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula vertical móvel no gasômetro, mergulhada sobre a biomassa na câmara de fermentação, com uma parede de concreto criando duas seções. Considerado um modelo mais eficiente, em razão de possibilitar uma circulação da matéria orgânica na totalidade da câmara de fermentação [136].

Por conseguinte, O modelo indiano (Figura 11) denota uma maior eficiência em comparação aos demais modelos, devido sua pressão e operação constante, com gasômetro a deslocar-se verticalmente, permitindo o armazenamento e elevação do volume de gás, com respectiva manutenção da pressão constante. A posição do gasômetro acima do substrato reduz as perdas durante a produção de biogás [136] [137].

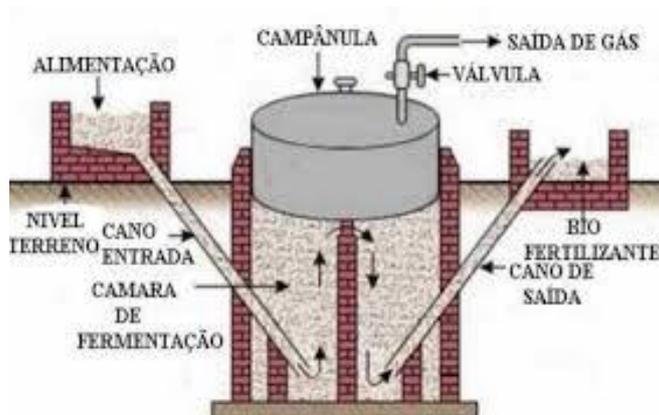


Figura 11: Representação esquemática em corte transversal de um biodigestor indiano [138]

Cada biodigestor necessita uma certa característica para um bom funcionamento, não sendo diferente para biodigestores indianos. De fato, os biodigestores indianos possuem uma peculiaridade em relação aos seus resíduos, os quais devem exibir uma concentração de Sólidos Totais (ST) inferior a 8% (condições ideais), de forma a facilitar a circulação do mesmo na câmara de fermentação e evitar entupimentos [137] [138].

Neste tipo de biodigestor, o abastecimento deve ser contínuo, por isso, os resíduos geralmente optados para seu uso, estão relacionados com dejetos de bovinos, suínos ou mesmo alimentos (dependendo da demanda) [3]. Resíduos da avicultura usualmente são encaminhados a biodigestores de batelada, devido a produção de resíduos não ocorrer diariamente ou a cada 3 dias [138] [139].

Por fim, é importante observar que, a despeito de possuir uma simplicidade em sua concepção, o custo de biodigestores indianos costuma encarecer devido a instalação do gasômetro de metal, para além de possíveis distancias onde poderá ser instalado, encarecendo o transporte [136] [139].

3.2.2. Biodigestor Chinês

O biodigestor Chinês (Figura 12) é formado por uma câmara de fermentação cilíndrica de alvenaria, com gasômetro abobado e hermeticamente selado. Tal biodigestor trabalha como uma prensa hidráulica, com as elevações de pressão no interior da câmara de fermentação, sejam recorrentes da produção de biogás, resultando na movimentação do resíduo no interior desta, até seu posterior deslocamento para a caixa de saída [125] [140].

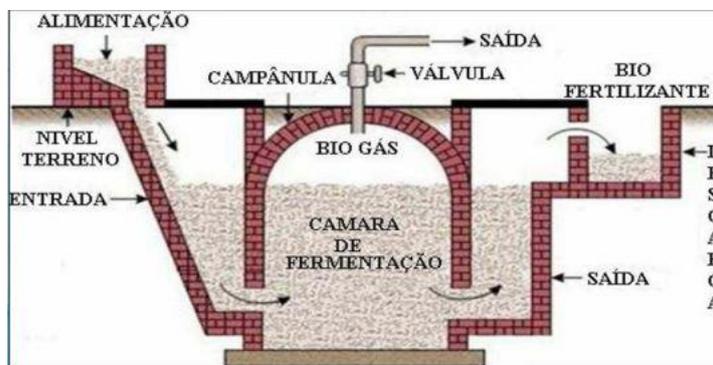


Figura 12: Representação esquemática de um biodigestor modelo Chinês com respectivo gasômetro e câmara de fermentação abaixo da superfície do solo para manutenção de uma temperatura adequada para biodigestão, assim como válvulas de controle de coleta de gás biológico [138].

Em contrapartida, neste modelo, quando se inicia uma redução na produção de biogás, decorre uma descompressão no interior da câmara de fermentação, levando a um fluxo contrário do rejeito da caixa de saída para o interior da câmara [125] [140].

Em razão disso, é importante, uma vez que consiste em um sistema de fluxo contínuo, que as condições de produção de biogás estejam sendo atendidas, para que haja uma efficientização de sua produção e não decorra um

refluxo do rejeito, mantendo-se constantemente uma pressão adequada para o contínuo movimento do resíduo no interior da câmara de fermentação [125] [140].

Os biodigestores chineses são construídos, quase que em sua totalidade de alvenaria, com a dispensa do uso de chapa de aço para confecção do gasômetro, reduzindo os custos de confecção e instalação. Não obstante, se a estrutura não estiver corretamente vedada e impermeabilizada, poderá ocorrer vazamento do biogás [141] [142].

As construções de biodigestores chineses não carecem de extensas áreas para sua instalação, devido, principalmente, a tubulação de PVC instalado sob o gasômetro, permitindo que o biogás seja liberado para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna de gás. Contudo, esta redução de pressão, faz com que este modelo não seja indicado para instalações de grande porte [141] [142].

É ainda relevante denotar que, assim como em modelos indianos, os substratos inseridos em biodigestores chineses devem possuir sólidos totais em torno de 8% (condições ideais), de forma a permitir uma correta circulação e impossibilitar entupimentos nas tubulações de entrada e saída destes biorreatores [141] [142].

3.2.3. *UASB*

O Up flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), também conhecido como Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente (DAFA), consiste em um reator anaeróbico para o tratamento de resíduos orgânicos urbanos, com uma coluna de escoamento ascendente, uma câmara de fermentação, zona de sedimentação e um separador de fases gás-sólido-líquido (Figura 13) [143] [144].

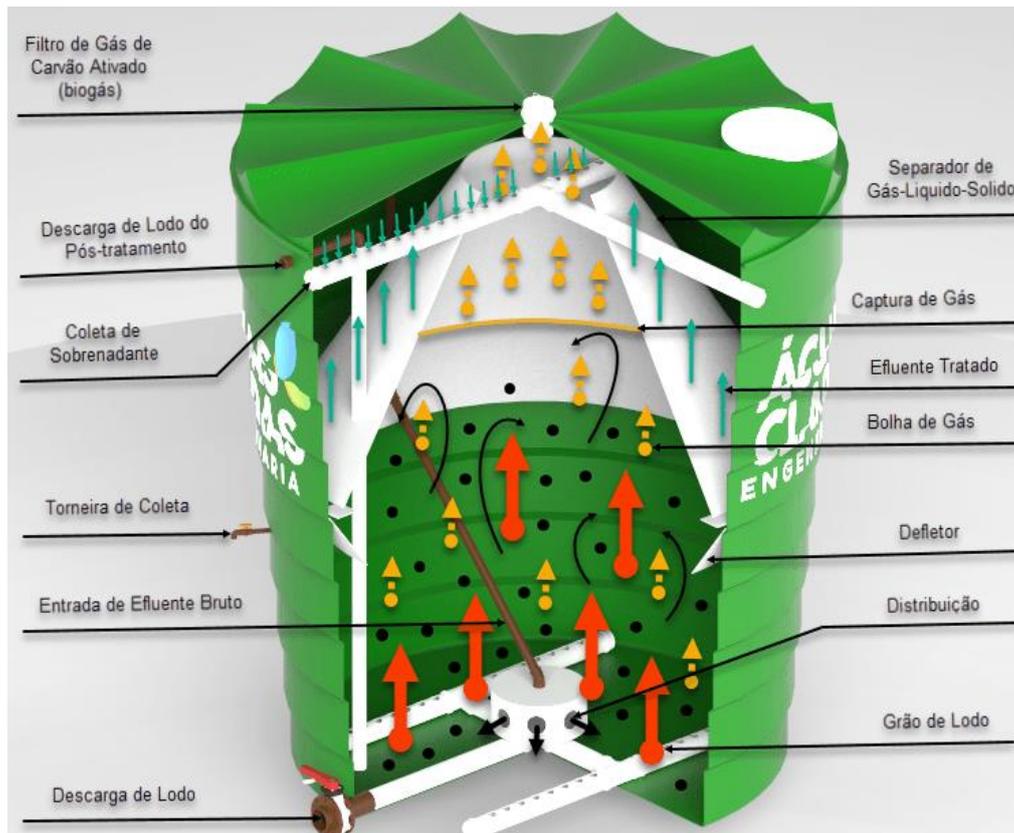


Figura 13: Imagem cedida pela empresa Águas Claras Engenharia, representando desenho esquemático de um reator UASB, com componentes que caracterizam o equipamento e o caminho ascendente pelo biogás percorrido [145].

Por meio de uma tubulação, os efluentes líquidos são transportados por gravidade, tendo os sólidos grosseiros retidos em uma grelha. Este efluentes são conduzidos para um equalizador ou elevatória, onde é realizada uma análise e correção do pH caso indispensável [143] [144] [145].

Uma vez corrigido o pH ou não, o efluente é inserido no reator através de sua base, seguindo uma trajetória ascendente, até uma manta de lodo denso e de alta atividade. Por conseguinte, ocorre uma mistura e inicia-se o processo de biodigestão [146] [147].

Na parte superior, observa-se o gasômetro para coleta de gases. Este fluido biológico gasoso é então encaminhado por estruturas definidas até a superfície do UASB. No decorrer desse processo, partículas com distintas densidades são encontradas, desde as de considerável propensão a sedimentação, próximo ao leito de lodo, até as notadas em superfície, próximo a manta do mesmo [143] [146].

Na área entre o leito do lodo e sua manta, ocorre uma mistura entre gases e líquidos. Denomina-se esta área de Zona de Reação (ZR). Enquanto o gás é encaminhado ao gasômetro, o efluente industrial ou sanitário é transportado a um decantador interno, localizado superiormente ao reator, sendo posteriormente, expelido a uma caixa receptora em sua área externa [147] [148].

Na caixa receptora, é realizado um tratamento complementar, onde decorre processos de oxidação da matéria orgânica remanescente nestes efluentes líquidos, com respectiva remoção de nutrientes [148] [149].

O UASB, ainda possui um sistema de segurança, abaixo do decantador, de forma a impedir que as partículas de gases desgarradas da zona de reação, sejam expelidas ao exterior, as encaminhando novamente a câmara de fermentação [147] [149].

Em um UASB, há a formação de biomassa com alta atividade microbiológica, alto rendimento de estabilização, dentro dos respectivos limites de digestão anaeróbia e tempo de detenção hidráulica relativamente curto. O lodo eventualmente retirado do fundo deste reator, é removido de forma equilibrada com objetivo de não comprometer a flora bacteriana, sendo posteriormente encaminhado a um sistema de desidratação [144] [149].

3.3. Produtos da Biodigestão

A biodigestão possibilita a geração de dois subprodutos renováveis, os quais caracterizam-se, como já comentado, por ser o biogás e biofertilizante, gerados após processos bioquímicos [3]. Todavia, para a manutenção da eficiência de produção, torna-se necessário entender as condições para uma eficiente digestão biológica [150].

A composição química quanto a presença de macro elementos, como carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, além de micronutrientes, como aminoácidos são de extrema importância para o desenvolvimento das Arqueas Metanogênicas [129] [151]. Portanto, o conhecimento da biomassa inserida no biorreator pode definir o contingente de matéria prima produzida ao final da biodigestão [151] [152].

Biomassa pode ser entendida como materiais susceptíveis a decomposição pela ação de microrganismos, que para o caso de processos de biodigestão em biorreatores, pode representar resíduos urbanos, agrícolas ou industriais [151] [152].

Caso um substrato possua pH abaixo do requerido (6,5 – 8), pode haver precipitação dos íons metálicos, bem como inibição da ação bacteriana [129] [142]. Em contrapartida, se o substrato possuir um pH superior ao necessário, ocorre uma precipitação na forma de íons de carbonato [129] [142].

Não obstante, consoante ao parâmetro de temperatura, esta está diretamente relacionada com o processo de fermentação. Logo, temperaturas em torno de 30 °C e 35,5 °C elevam a porcentagem de metano no interior do biodigestor, garantindo o poder calorífero da mistura [3].

Temperaturas adequadas possibilitam a biodigestão reduzir o volume de biomassa, mantendo-o a mesma razão do biogás produzido (1:1) [3]. Conservar o parâmetro de temperatura constante, permite a não mortalidade das bactérias Arqueas Metanogênicas, apesar da formação do metano poder ocorrer em condições extremas [153].

Dentre as espécies de Arqueas Metanogênicas, pode-se citar dois grupos de bactérias, as mesofílicas e as termofílicas, as quais possuem temperaturas adequadas para uma considerável produção de metano. As mesofílicas suportam faixas de temperaturas em torno de 20 °C a 45 °C., porém, as termofílicas já sobrevivem em ambientes com temperaturas entre 45 °C e 70 °C [153].

Apesar dos valores de temperatura para uma biodigestão adequada se encontrar entre 30 °C e 35,5 °C [3], diferentes temperaturas podem acelerar (37 °C) ou interromper o processo de biodigestão (15 °C) [153].

Todavia, ainda que a biodigestão possa estar em diferentes faixas de temperatura, mantê-la moderada e constante permite a possível não mortalidade das culturas de bactérias e o decorrer de um processo de biodigestão mais fluido, sem interrupções e com considerável rendimento e eficiência na produção de suas matérias primas [153].

Em razão disso, a biodigestão decorre com maior eficiência por meio de bactérias mesofílicas [153], uma vez que temperaturas adequadas para proliferação de bactérias termofílicas, proporcionam o aparecimento de lodos desidratáveis e agentes patogênicos, para além dos custos em aquecimento encarecerem os projetos em biodigestão e os inviabilizarem, salvo em situações onde o biodigestão já ocorre em ambientes de elevadas temperaturas [154].

Consoante aos demais parâmetros que influenciam na biodigestão, para além da temperatura, pH e composição química do substrato, o tempo de detenção hidráulica (Equação 8) é de considerável importância, uma vez que consiste no tempo em que o substrato se mantém no biodigestor, para a produção de biogás e conversão do resíduo em rejeito (biofertilizante) [125].

Abordado anteriormente, dependendo do tipo de biodigestão, o tempo de detenção do resíduo no biodigestor pode variar entre 30 e 60 dias. Contudo, compreender qual tipo de resíduo que está sendo inserido também se torna relevante para estimar o tempo de permanência deste no biodigestor e mesmo escolher o tipo de biodigestão adequada para a produção de biogás e biofertilizante [125].

$$TH = V/C$$

Equação 8: Equação representativa do tempo de detenção hidráulica, o qual é diretamente proporcional ao volume da mistura líquida e inversamente proporcional a carga diária do resíduo. TH = Tempo de detenção Hidráulica. V = Volume da Mistura Líquida. C = Carga Diária. [125]

Por fim, e não menos importante, é significativo que a introdução de resíduo no biodigestor obedeça a uma razão de 1:2 (sólido: líquido) [3]. Para além disso, o uso de inóculo torna-se relevante, fornecendo substratos e mesmo funcionando como catalisador no processo de biodigestão, permitindo também uma bioestabilização anaeróbia dos resíduos, já que contribui para a melhoria da densidade microbiana (Equação 9) [125].

$$FI = \frac{STi}{STi + STs}$$

Equação 9: Equação da quantidade de inóculo necessária ao biodigestor, sendo esta uma das formas algébricas de calcular seu valor. FI = Fator do Inóculo. STi = Sólidos Totais do Inóculo. STs = Sólidos Totais do substrato [125].

3.3.1. Biogás

Formando-se a partir da decomposição da matéria orgânica, por meio da Arqueas Metanogênicas e com auxílio das bactérias anaeróbicas, o biogás é constituído em sua maioria por de metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), além de outros gases, como sulfeto de hidrogênio (H_2S), oxigênio (O_2), hidrogênio (H_2), amônia (NH_3) e dióxido de carbono (CO_2) [3].

A geração de biogás em um biodigestor pode ser influenciada por meio de alguns parâmetros, como pressão, temperatura, tempo de detenção, pH e razão de diluição [3]. Normalmente o percentual de metano após 4 semanas encontra-se em torno de 55% a 70% e de dióxido de carbono em torno de 30-45% [125] [155].

Notavelmente, com 70% de metano [252], o biogás possui energia relativa em Joules a um máximo de $27,7 \text{ J/cm}^3$ ($21,5 \text{ J/cm}^3 \leq \text{CH}_4 \leq 27,7 \text{ J/cm}^3$), equivalente a 0,61 litros de gasolina, 0,45 litros de gás butano, 0,58 litros de querosene, 0,55 litros de óleo diesel, 0,79 litros de álcool e 1,5 quilogramas de lenha em combustão [156].

Durante o processo de fermentação para sua produção, denominado digestão anaeróbia, ocorre degradação e estabilização da matéria orgânica em diferentes fases, sob a ação de bactérias que atuam de forma simbiótica. Dentre estes microrganismos, podemos citar a existência de bactérias Hidrofílicas, Acidogênicas, Acetogênicas e Metanogênicas [3].

Cada bactéria presente em um biorreator possui características diferentes, principalmente com vistas às suas necessidades nutricionais, fisiologia, crescimento e sensibilidade quanto a variação de temperatura. No tocante a sua reprodução, as bactérias Acidogênicas e as Arqueas Metanogênicas apresentam um ritmo mais vagaroso que as demais presentes no biorreator [125] [157].

Portanto, a biodigestão correlacionam-se ao processo de produção de biogás ocasionado no interior da câmara de fermentação de um biodigestor. Este processo pode ser subdividido em quatro etapas, como Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese (Figura 14) e Metanogênese. O surgimento da Sulfetogênese,

como uma quinta etapa, pode decorrer dependendo das características da água residuária ou do resíduo em questão [3].

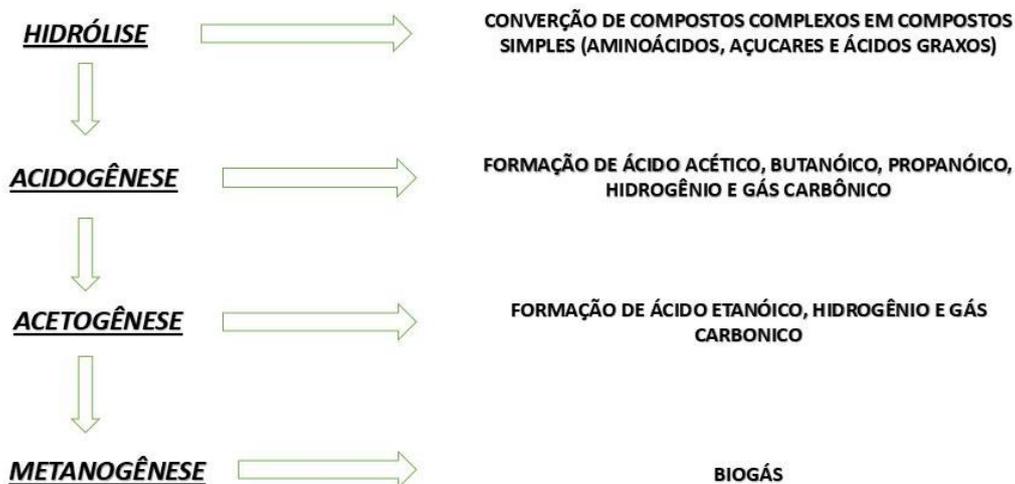


Figura 14: Representação das 4 etapas iniciais de uma biodigestão e os produtos por elas gerados, sendo utilizados sempre pelos microrganismos da etapa subsequente [190].

A primeira etapa é a hidrólise, realizada por bactérias fermentativas hidrofílicas, onde há desmembramento de compostos orgânicos complexos em compostos orgânicos simples, na qual as proteínas e gorduras são quebradas em reações bioquímicas, dando origem aos aminoácidos, ácidos graxos e açúcares. [3].

A segunda etapa é a Acidogênese, realizada pelas bactérias fermentativas Acidogênicas, metabolizando os compostos resultantes da hidrólise, transformando-os em ácido acético, ácido butanoico, ácido láctico e álcoois, assim como hidrogênio e gás carbônico [3].

Uma peculiaridade do processo de Acidogênese consiste na quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura, pois se a mesma se encontrar elevada, ocorre uma influência negativa na eficiência de seu processo, em razão do acúmulo de ácidos graxos, sendo o pH reduzido e todo o processo de obtenção de metano afetado [125].

Contudo, a terceira fase é denominada como Acetogênese, realizada por bactérias Acetogênicas, utilizando os compostos orgânicos intermediários e produzindo ácido etanoico (CH_3COOH), gás hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2) [3].

Em uma quarta fase, emerge a Metanogênese, sendo esta, a última etapa do processo, caso não haja a presença de sulfato, sucedendo então a digestão anaeróbia, com auxílio das Arqueas Metanogênicas, que convertem o acetato a metano e dióxido de carbono [3].

Um ponto importante da Metanogênese, é que as bactérias presentes nesse processo, as Arqueas Metanogênicas possuem duas classes, com características genéticas específicas, permitindo viver em ambientes singulares, com aceptores de elétrons, como oxigênio (O₂) e Nitrato (NO₃) [158], surgindo em concentrações reduzidas ou ausentes. Tais bactérias se subdividem em Arqueas Metanogênicas Hidrogenotróficas e Arqueas Metanogênicas Acetoclásticas [128].

Com vistas às Arqueas Metanogênicas Hidrogenotróficas, estas utilizam o hidrogênio e o dióxido de carbono para produção de metano [128]. Já as Arqueas Metanogênicas Acetoclásticas utilizam basicamente o ácido acético, etanol e gás carbônico para geração de metano [128] [158].

As Arqueas Metanogênicas Hidrogenotróficas (Figura 15) se apresentam em menor número, mas responsáveis por cerca de 60 a 70 % de metano produzido [3] [159], sendo praticamente todas destes grupos capazes de produzir metano a partir de hidrogênio e gás carbônico, por meio de um processo exotérmico, liberando considerável contingente de energia e calor (3x mais que as demais etapas) [128] [159].



Figura 15: Imagem microscópica das Arqueas Metanogênicas Hidrogenotróficas [128]

Em biodigestores com alta carga orgânica de resíduos agrícolas, tendem a Arqueas Metanogênicas Hidrogenotróficas em relação as Arqueas Metanogênicas Acetoclásticas, que se proliferam em maiores quantidades em ambientes com baixa carga orgânica volumétrica [128] [160].

Apesar das Arqueas Metanogênicas Acetoclásticas (Figura 16) liberarem menos energia que as Hidrogenotróficas, estas também são capazes de sintetizar o gás carbônico para produção do metano, colaborando na redução da quantidade final deste gás carbônico no biogás emitido [128] [160].



Figura 16: Imagem Microscópica das Arqueas Metanogênicas Acetoclásticas. [128]

Normalmente a Metanogênese é a fase mais sensível da biodigestão, devido a sensibilidade das bactérias Arqueas as variações das condições do meio, sendo muito importante o controle das variáveis que permitem uma boa biodigestão, como por exemplo, temperatura, pressão, pH, entre outras [161].

Entretanto, há um processo em paralelo, que ocorre geralmente na presença de águas residuárias ou mesmo devido a determinados resíduos, denominado Sulfetogênese com presença de sulfato ou outros compostos a base de enxofre [3].

O sulfeto de hidrogênio (H_2S), produzido nesta etapa, é incolor, mais denso que o ar, de odor desagradável, tóxico, volátil e irritante, atuando sobre o sistema nervoso, olhos e vias respiratórias [3].

Por causa do sulfato, diversos compostos intermediários passam a ser utilizados pelas bactérias redutoras de sulfato (BRS) ou sulforedutoras, promovendo a liberação de sulfeto de hidrogênio e provocando uma alteração das rotas metabólicas do digestor anaeróbio, passando a competir com as bactérias fermentativas Acetogênicas e as Arqueas Metanogênicas, pelos substratos disponíveis [3].

Os poluentes existentes na composição química do biogás, como sulfeto de hidrogênio (H_2S), possui poder corrosivo sobre os motores e geradores de

energia, tóxico, auxiliador na produção da chuva ácida e inflamável; ou mesmo o dióxido de carbono (CO₂), o qual diminui seu poder calorífero do biogás [3].

Em relação ao poder calorífero (5000 Kcal/m³ a 7000 Kcal/m³) [88], este representa a quantidade de energia necessária por unidade de massa, quando ocorre a oxidação de um determinado combustível, que neste caso correspondente ao biogás [3] [90].

3.3.2. *Biofertilizante*

“**Bio**” significa vida e “**fertilizante**”, expressa aquele que fertiliza ou fecunda. Logo, como caracterização do rejeito, obtido em processos de biodigestão, este possui como significado “**fertilização por meio da vida.**” [17] [18].

Comentado previamente, biofertilizante consiste em um composto orgânico rico em nutrientes e microrganismos, auxiliando na melhoria da qualidade do solo, no crescimento da biomassa florestal, na qualidade dos cultivos agrícolas, no combate a pragas, doenças e mesmo insetos [19] [20]. Auxilia na elevação do pH (7,0 - 8,0), não propaga cheiros odoríferos e é produzido a um baixo custo [21] [22].

Um biofertilizante pode ser produzido tanto por via aeróbica, em presença de oxigênio, como ocorre em composteiras [162], quanto por via anaeróbica, na ausência de oxigênio, constatado em biodigestores [163].

Na compostagem verifica-se valorização da matéria orgânica, em meio aeróbio, onde bactérias mesofílicas e termofílicas atuam em associação por fases, antes da etapa de maturação, degradando a matéria orgânica e a convertendo em húmus, o qual é um composto estável, fértil, rico em nutrientes e microrganismos [162].

Já na biodigestão, o biofertilizante é produzido por meio da fermentação de materiais orgânicos de distintas origens, geralmente produzido por bactérias mesofílicas, em meio anaeróbio, sob específicas condições de temperatura e pressão, gerando um composto igualmente rico em nutrientes, microrganismos e com uma considerável relação carbono/nitrogênio [163].

Durante a biodigestão, o resíduo é convertido em rejeito (biofertilizante), após um determinado período de tempo, dependendo da metodologia de biodigestão, no decorrer e sucessivamente a etapa da Metanização, podendo servir tanto para inóculo da próxima biodigestão ou quando em seu uso no ecossistema [3] [163].

O volume do biofertilizante produzido em sistemas de biodigestão está diretamente relacionado a razão hídrica inserida na câmara de fermentação, isto é, produzido na mesma quantidade de efluente líquido inserido em um biorreator [3] [164].

A qualidade de um fertilizante biológico produzido em biodigestores, está intimamente ligado as condições para uma eficiente biodigestão. Assim como para uma adequada produção de biogás, a conversão do resíduo em biofertilizante é pertinente a parâmetros de temperatura, pressão, pH, características de biomassa, entre outros [3] [164].

Para sistemas de biodigestão, o tempo de produção de biofertilizantes variam em torno de 30 a 60 dias dependendo do método adotado [3] [164]. Diferente ao que ocorre na compostagem, onde o tempo de produção desse fertilizante biológico ocorre em torno de um período de 30 dias [3] [162].

Comumente, um biodigestor produz um contingente maior de fertilizante biológico do que composteiras, isso porque a biodigestão exige uma área menor de instalação e operação para biodigestores, do que a metodologia de compostagem exige para composteiras. Todavia, por critérios de qualidade quanto a melhoria das características dos solos, ambas matérias primas são de elevado valor agregado [162] [163].

3.4. Biometanização

Biometanização baseia-se no aumento significativo de metano (> 95%), em razão do uso de metodologias atuantes após a produção de biogás. Essas mesmas metodologias consistem em sistemas de purificação [165] [166].

Comparativamente ao conceito e pratica de biodigestão, estudos e pesquisas em sistemas de purificação ainda se encontram relativamente recentes, existindo atualmente diversas pesquisas neste campo científico, de

forma a elevar a eficiência e o rendimento de sistemas energéticos e automotivos [3] [167].

A promoção de pesquisas em biometanização provém da importância em aperfeiçoar tecnologias pré-existentes, de forma proporcionar ambientes sustentáveis, com um forte fomento a melhoria contínua da economia circular, de espaços autossustentáveis e mesmo da inclusão dos conceitos de Avaliação do ciclo de vida [167] [168].

A Produção de biogás possibilita resultados que permitem caminhar ao encontro de soluções para questões ambientais como, déficit energético ou transição para o uso energético renovável, devido ao contingente de matéria orgânica associados a reduzidos nos espaços agrícolas e urbanos, além de permitir o desenvolvimento de novos sistemas renováveis e auxílio na gestão de resíduos urbanos e agrícolas no país [168] [169].

Sem embargo, processos que vão ao encontro da Biometanização, permitem, uma elevação do rendimento e eficiência energética e automotiva, reduzindo a emissão de gases do efeito estufa (GEE) e demais gases que possam causar impactos a saúde humana e ao ambiente, no emprego de matéria prima renovável, para além de possibilitar o desenvolvimento tecnológico para o melhoramento de sistemas renováveis pré-existentes [3] [168].

Portanto, incentivos ao desenvolvimento de pesquisas em purificação de biogás tem sido incentivada pela United Nations Organization (UN), que apesar de se entender que sistemas de biodigestão exibem seu grau de importância, estes devem atuar em associação com os demais sistemas energéticos renováveis, de forma a alcançar uma perspectiva sustentável em um núcleo urbano ou rural [170].

Dentre as metodologias exploradas na atualidade, as que de considerável visibilidade, consistem nos lavadores de gases, filtros de biocarvão, Filtros Fe/EDTA, Membrana de metano, sistemas de filtros em série, Reatores de microalgas e sistemas de criogenia [3] [167].

Os processos de purificação atualmente desenvolvidos já conseguem emitir níveis substanciais de metano, propiciando seu uso em sistemas

energéticos e de transportes, como demonstrado na Tabela 8 e Gráfico 2 a seguir [3][171]:

Tabela 8: Tabela representativa da quantidade de metano produzida por cada um dos sistemas de purificação de biogás existentes atualmente, em critérios de porcentagem [3] [171].

METODOLOGIAS DE PURIFICAÇÃO	CONTINGENTE DE METANO PRODUZIDO
Lavador de Gases	0,9572
Filtro de biocarvão	0,9755
Filtro Fe/EDTA	0,9333
Membrana de Metano	0,9463
Sistemas de Filtro em Série	0,9891
Reator de Microalgas	0,9412
Criogenia	0,9999

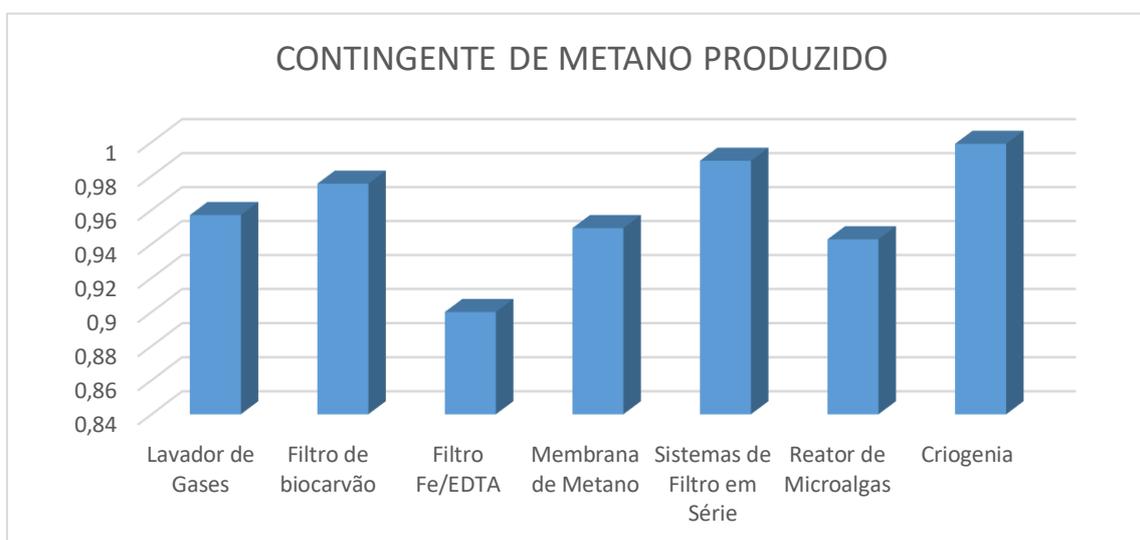


Gráfico 2: Representação gráfica da quantidade de metano produzida por cada um dos sistemas de purificação de biogás existentes atualmente, em critérios de porcentagem [3] [171]

Examinando a Tabela 8 e o Gráfico 2 nota-se que o melhor procedimento de purificação, quanto a critérios de eficiência e rendimento, é a metodologia da criogenia, pois além de proporcionar uma emissão de elevado grau de metano, permite sua reduzida perda (< 0,5%) [3][171].

Entretanto, a metodologia da criogenia é ainda fora dos padrões de aplicabilidade do mercado, devido ao seu elevado custo, complexidade dos processos e a necessidade de avançadas tecnologias para seu adequado funcionamento. Todavia, como critérios acadêmicos e científicos, ainda representa a metodologia de melhor eficiência e rendimento na obtenção da biometanização [3].

A perda de metano em um contexto geral, para todas as metodologias de purificação, encontra-se na faixa de 22% a 45%. Portanto, alcança-se 55% a 78%, relativamente a sua concentração inicial emitidos pós purificação [3].

A perda de metano, porém, não afeta a produção de biometano. Consoante ao Centro de Produções Técnicas (CPT) [172], para o respectivo alcance da biometanização, basta que o sistema consiga produzir um contingente de metano equivalente a 95%, ou seja, este mesmo biometano, encontra-se relacionado relativamente a toda sua composição química, em função dos demais elementos químicos presentes nesta mesma composição [3] [171].

Consequentemente, se há uma redução ou erradicação do sulfeto de hidrogênio e dióxido de carbono, com conseqüente concentração dos demais elementos, o percentual de metano na estrutura será maior ou igual a 95% em comparação ao total [3].

Salvo a metodologia da criogenia, ainda em análise da Tabela 8 e Gráfico 2, o sistema de produção de filtros em série é uma boa alternativa para se alcançar elevados níveis de metano emitidos no pós-purificação [3].

Esse sistema em série é composto pelo conjunto de filtros (Lavador de gases, filtro Fe/EDTA e o filtro de biocarvão), além da membrana de metano. Esse sistema desenvolvido e patenteado no Brasil, permite teores de metano superiores a 95 %, alcançando a biometanização e melhorando a eficiência e o rendimento de sistemas elétricos e automotivos [3].

Estas metodologias de purificação por sistema de filtros e membranas, quando dispostos individualmente, na maioria dos casos, exibem dificuldades em alcançar a biometanização, mas quando unidos em série, possibilitam um grau satisfatório de metano produzido [3].

Entretanto, num reator de microalgas (Figura 17), relativo ao seu contingente máximo purificado, observa-se uma dificuldade de atingir a biometanização, em distintos casos, dependendo da metodologia de produção abordada. Nesse contexto, o uso deste reator, provido a biocarvão, pode auxiliar no seu alcance, posto, que sua utilização, poderia possibilitar uma emissão do percentual de metano, equivalente ou superior a 95% [3] [43].

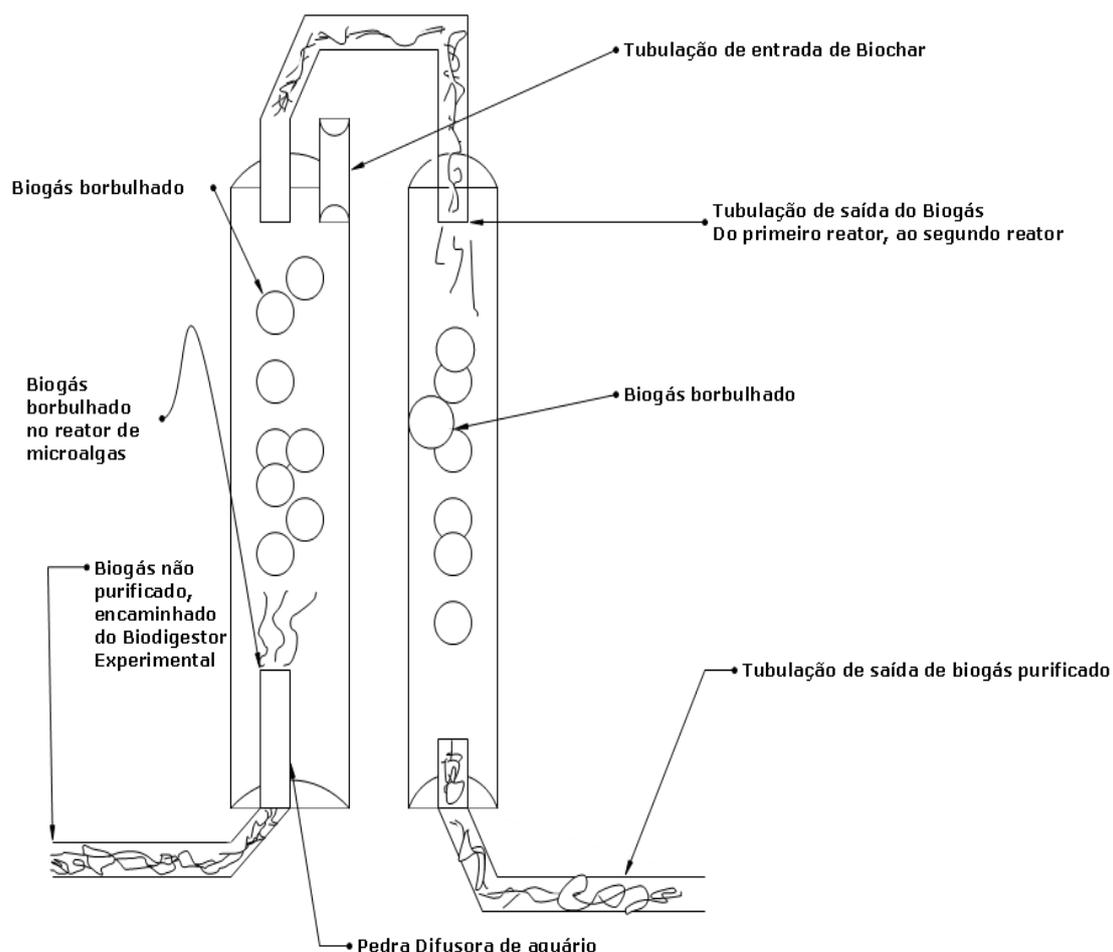


Figura 17: Desenho esquemático do processo de purificação de biogás, quando este é borbulhado em um reator de microalgas, antes e pós imersão de biocarbão no sistema [3] [43]

Portanto a inclusão de metodologias e procedimentos de biometanização, viabiliza, dentre o que já fora comentado, a produção de sistemas energéticos e combustíveis limpos, de elevada eficiência e rendimento, conferindo um apelo a pegada de carbono, reduções ao aquecimento global, um impulso a Smarts Cities e ambientes sustentáveis [173] [174].

Logo, o desenvolvimento de projetos com esta mesma perspectiva, possibilita uma inclusão acadêmica e social, garante o conhecimento científico, viabiliza a integração social da comunidade, imprime novas pesquisas, aumenta a circulação de renda, ocasiona novos empregos e a promove um uso maior de recursos renováveis. A seguir foi descrito algumas metodologias utilizadas em decorrência da purificação de biogás [173] [174].

3.4.1. Lavador de Gases

Um das tecnologias utilizadas para o tratamento de gases, consiste no lavador de Venturi (Figura 18), que através de uma pressão gasosa, separa as impurezas de um gás na abertura da garganta, tais como Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) e o Dióxido de Carbono (CO_2), por meio de uma corrente líquida, sendo também denominado como Lavador de Gases [3].

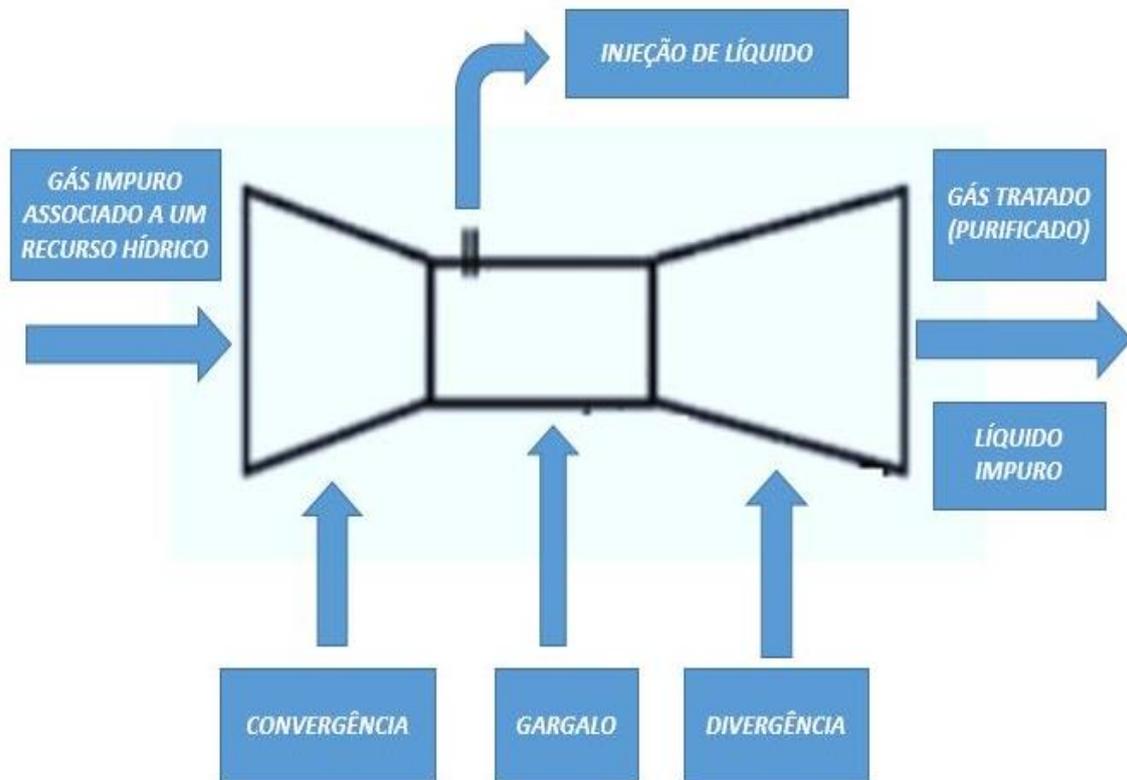


Figura 18: Desejo esquemático de um Lavador de Venturi utilizado nas Torres de Enchimento [3].

O Lavador de Venturi possui uma seção reta transversal circular ou retangular, com partes distintas, uma seção convergente, a garganta e a seção divergente ou difusor, não exibindo fontes secundárias de poeira, exigindo pequenos espaços para instalação, coleta de material particulado, manuseio de gases a altas temperaturas e pressões, baixos custos e considerável eficiência na coleta de materiais particulados finos [3].

Em procedimentos industriais, o Lavador de Venturi, normalmente é utilizado em Torres de Enchimento (Figura 19), as quais, realizam um procedimento de dispersão da fase líquida e gasosa. Os gases que se encontram dispersos na torre, por meio de leito poroso, ecoam em sentido de contracorrente, adsorvendo fisicamente os poluentes [3].

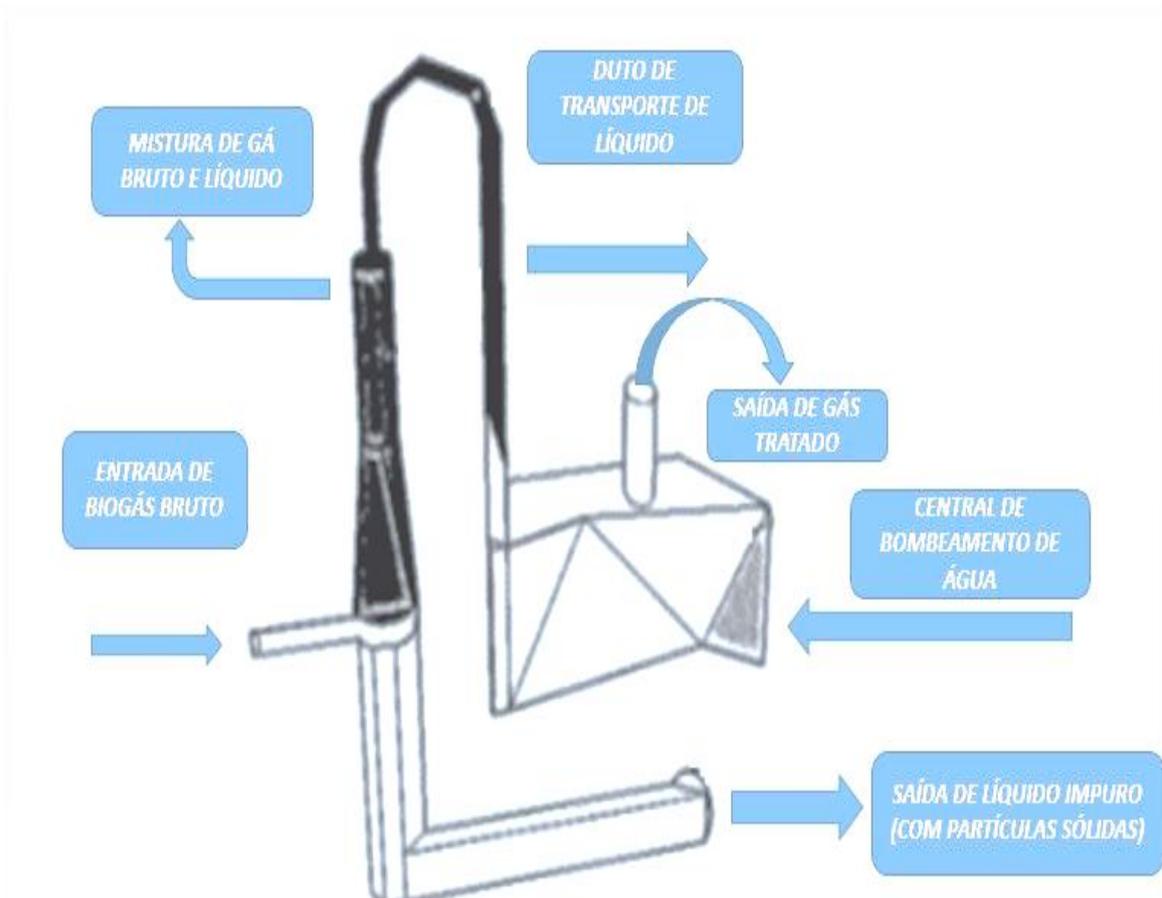


Figura 19: Desenho esquemático de uma Torre de Enchimento [3]

O fluxo contracorrente transporta o fluido gasoso de maneira ascendente pela torre enquanto o líquido passa de maneira descendente. Quando o Lavador de Venturi é inserido nas torres de enchimento, a transferência de massa do gás para o líquido ocorre na parte recheada da torre [3].

Por fim, ainda pode-se dizer que tal equipamento pode ser reproduzido em menor escala e mesmo de maneira experimental (Figura 20), por meio de um filtro cilíndrico, com ramificações nos lados direito e esquerdo, para entrada e saída de gases respectivamente, e um leito poroso ao fundo, preenchido com água, realizando borbulhamento do mesmo [3].

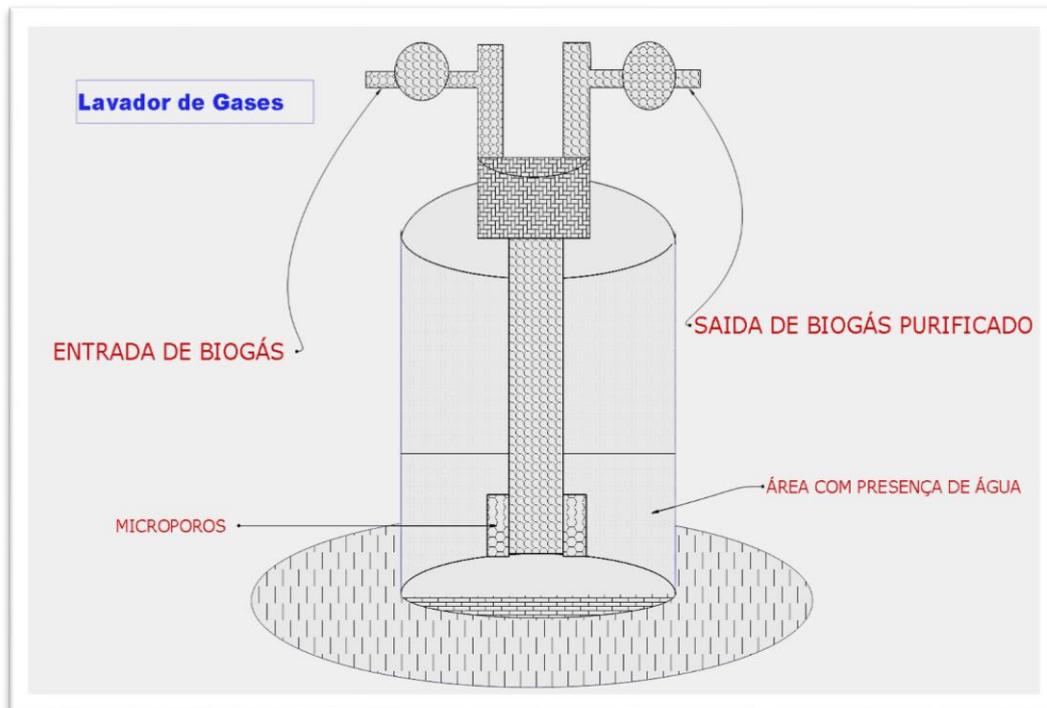


Figura 20: Desenho Esquemático de um Lavador de Gases experimental produzido em laboratório [3]

3.4.2. Membranas de Metano

Desde a década de 70, a tecnologia de separação por membranas (Figura 21) tem sido incentivada. Estas denotam elementos sintéticos, exigindo pequenas áreas, baixo custo e nenhuma produção de efluentes ao final do processo. Seus tubos de PVC exibem 1mm de espessura inferior, manifestando permeabilidade seletiva (dependência do contaminante ao material da membrana) em razão da diferença de pressão parcial [3].



Figura 21: Membrana de metano em um tubo de poliuretano capaz de permitir a permeabilidade do CH_4 [3]

Quando confeccionada, a membrana de metano, deve ser permeável ao metano (maior afinidade) e impermeável aos demais elementos químicos (menor afinidade). Para tanto, deve-se considerar a composição química do biogás, pois quanto maior sua pureza, maior o percentual do elemento que se deseja obter e assim, maior sua permeabilidade (Figura 22) [3].

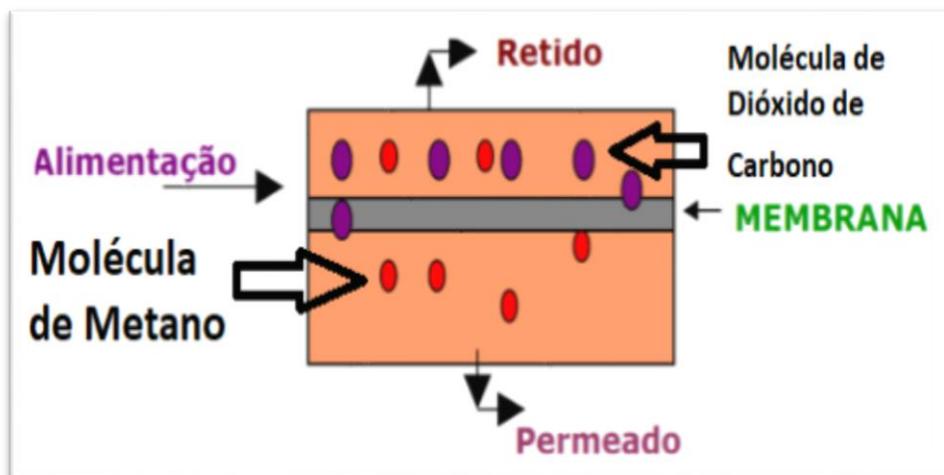


Figura 22: Desenho esquemático da funcionalidade de uma membrana de metano [3]

A membranas de metano possuem elevada eficiência de remoção do sulfeto de hidrogênio (H_2S), dióxido de carbono (CO_2) e demais contaminantes, com baixo custo, facilidade de operação e manutenção, área reduzida, funcionamento a baixas temperaturas e facilidade de escalonamento [3].

Todavia, uma plastificação pode ser promovida pela utilização de membranas de metano, devido à elevação da pressão proporcionada pela dissolução CO_2 , alterando o desempenho. Recomenda-se sua aplicação, associada a quantidade de gás a purificar. Apesar do encarecimento dos custos de produção, ligas de paládio misturado a outros metais também podem ser introduzidas em sua composição, elevando a tolerância a impurezas. [3].

3.4.3. Filtro de Carvão Ativado

Tecnologia considerada uma das mais eficientes e promissoras de purificação de biogás, Pressure Swing Adsorption (PSA), pode chegar a 99% segundo alguns autores, dependendo do carvão ativado utilizado. Apesar de tal elevação não ser normalmente obtida, o uso de carvão ativado possibilita encontrar graus de metano em torno de 90% a 95% [3].

A tecnologia do PSA, também denominado Filtro de Carvão Ativado (Figura 23), realiza uma purificação por meio de pressão, de forma a separar os componentes químicos do sulfeto de hidrogênio (H_2S) e dióxido de carbono (CO_2), exibindo quatro colunas de adsorção, tendo o biogás injetado em sua base [3].

Ao longo do procedimento de purificação, o carvão ativado pode se saturar com os respectivos elementos por ele adsorvido. Este instante de saturação, é denominado de ponto de saturação, onde o sistema é travado, tendo o gás transferido para próxima coluna, com o objetivo de manter o fluxo contínuo [3].

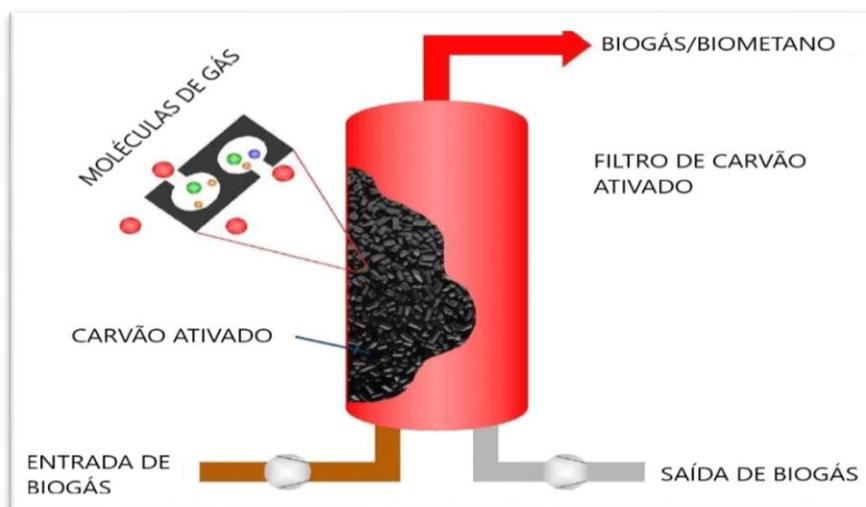


Figura 23: Desenho esquemático de um filtro de carvão ativado demonstrando seu funcionamento quanto a produção de biometano [3].

Através de uma despressurização da coluna, alcançando o ponto de adsorção (elementos adsorvidos), a metodologia do PSA manifesta seu máximo rendimento e eficiência. Além disso, o uso de carvão ativado, constitui apenas uma das metodologias de purificação, podendo ser ainda substituído por outros materiais como sílica gel, alumínio, ou mesmo o biochar [3].

O Biochar é um composto químico, associado cadeia de bioenergia, rico em carbono, gerado em ambientes com baixos níveis de oxigênio e altas temperaturas ao longo dos anos [3].

Considerado como um tipo de carvão ativado, fora descoberto por tribos indígenas da Amazônia, por meio da decomposição de material residual da queima de biomassa, dando origem a terra preta do índio [3].

O Biochar exibe em sua composição diversos elementos, como cálcio (Ca), o magnésio (Mg), potássio (K), cobre (Cu), com elevado pH (>7) e altas concentrações de matéria orgânica [3].

Através da pirolise, a matéria orgânica é degradada termicamente, em um ambiente oxidante, com reduzida oxigenação, minimizando então o processo de gaseificação. As temperaturas variam em torno de 400 °C, convertendo a 50% o carbono armazenado em uma forma estável e inativa, sendo uma técnica propícia em solos [3].

Nos solos, o Biochar possibilita sua restauração, proporcionando um aumento dos estoques de carbono e da produtividade florestal, com microporosidades que elevam a retenção hídrica e o aumento de nutrientes, disponibilizados as raízes das plantas, elevando a eficiência de adubação, assim como o aumento do pH, permitindo uma maior atividade biológica, com abrigo de fungos e outros organismos benéficos [3].

Por meio do ordenamento das estruturas aromáticas do biochar, consoante ao processo de pirolise, suas estruturas aromáticas ordenam-se à medida que ocorre elevação da temperatura, ampliando a superfície de contato [3].

Além disso o Biochar adsorve o H₂S e o CO₂, inibindo a emissão de tais elementos para a atmosfera, tendo, portanto, importância significativa, alcançando níveis de no mínimo 80% de metano e quando associado aos outros sistemas de purificação, pode chegar de 90% a 95% de metano em sua estrutura [3].

Quando saturado, o biochar pode ser retirado e levado ao solo, uma vez que é considerado um condicionador, que agregado ao solo, auxiliam no melhoramento das características químicas, físicas e biológicas do mesmo, aumentando a capacidade de suporte de plantas [3].

Mesmo saturado, uma vez no solo, os componentes químicos adsorvidos no biochar, sofrem redução, são mineralizados e as frações S-C ou enxofre residual, além estáveis, são absorvidos pelas plantas, formando aminoácidos e auxiliando no processo de fotossíntese, permitindo estoques de carbono, retenção hídrica, aumento de nutrientes e da atividade biológica [3].

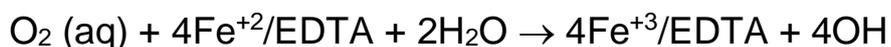
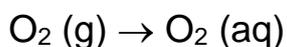
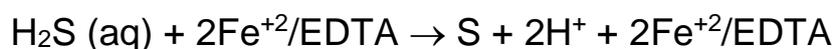
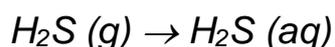
3.4.4. Filtro Fe/EDTA

O ferro etilenodiaminotetraacético (Fe/EDTA), também denominado quelato de ferro (Figura 24), constitui um composto químico capaz de remover o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e o dióxido de Carbono (CO₂) da composição química do biogás, sendo de fácil regeneração, uma vez que seus componentes químicos não são alterados, representando uma estabilidade, com comercialização de baixo potencial poluidor [3].



Figura 24: Imagem do elemento de Ferro Etilenodiaminotetracético (Fe/EDTA), utilizado para adsorver partículas de H₂S e CO₂ presente no biogás [3].

Os gases ao adentrarem na composição química do biogás, é transferido para forma líquida e então misturado ao Fe/EDTA, tendo como produto da reação a conversão do enxofre para forma solúvel, com o elemento Fe convertido a forma inativa, regenerada e transformada para conformação férrica, pela oxidação de uma solução com o oxigênio [3].



Pode-se perceber que ao final da reação, o enxofre pode ser facilmente coletado e comercializado. Para que esta reação possa ocorrer, o quelato de ferro deve conter um pH básico ou neutro, permitindo assim que os contaminantes sejam absorvidos de forma seletiva [3].

É importante observar que as concentrações de Fe^{2+} e Fe^{3+} devam ser estáveis e reduzidas, de forma que a oxidação do H_2S a enxofre elementar ocorra e a solução possa se regenerar. A estabilidade do Fe^{3+} cresce com a basicidade, mas não tanto quanto do Fe^{2+} [3].

O procedimento de purificação por meio de um Filtro de Fe/EDTA exhibe uma eficiência em torno de 85% a 90%, tanto em relação ao CO_2 , quanto de H_2S , elevando a contingente de metano na composição química do biogás [3].

3.4.5. *Reator de Microalgas*

Devido a sua capacidade de produção de bioprodutos e biocombustíveis, estudos referentes a análise da potencialidade da biomassa de microalgas vêm sendo cada vez mais recorrentes [174] [175].

Nesse contexto, seu uso tem sido amplamente utilizado na adsorção de determinados elementos, no que se refere a purificação de biogás [175].

As microalgas, como grupo heterogêneo de organismos, representam um conjunto predominantemente de espécies aquáticas e unicelulares, formando colônias, mesmo em ambientes inóspitos, com pouca ou nenhuma diferenciação celular, pigmentos fotossintéticos, clorofila e mecanismo fotoautotrófico [175].

Responsáveis por 50% a 60% do oxigênio da atmosfera, as microalgas, em razão de sua característica fotossintética, combinam água e dióxido de carbono, a luz solar, auxiliando na redução de gases do efeito estufa e gerando polissacarídeos, proteínas, lipídeos e hidrocarbonetos, produzindo assim biocombustíveis (extração e transesterificação da fração lipídica), e suplementos alimentares [176].

Analisando a biomassa das microalgas (Figura 25), esta exhibe 50% de carbono, possibilitando no fornecimento de nutrientes e organismos distintas culturas e reduzindo os custos de produção [176].



Figura 25: Biomassa de microalgas utilizadas para produção de biocombustíveis [177].

Em virtude do uso das microalgas para redução dos gases do efeito estufa, sendo, portanto, essenciais no combate ao aquecimento ambiental, a adsorção de CO_2 permite o aumento de sua biomassa e produção de biomoléculas, tendo grande interesse nas indústrias farmacêuticas, cosméticos, nutrição animal e humana, no setor energético, etc [178].

Devido a presença de altas concentrações CO_2 no biogás, torna-se árdua a compressão e o transporte do mesmo, além dos prejuízos que a permanência do dióxido de carbono em sua composição química pode ocasionar, como perda da eficiência do motor. Para tanto, estratégias a sua remoção, utilizando organismos vivos foram desenvolvidas, como o amplo uso dos fotobiorreatores [179].

Por meio do fotobiorreator (Figura 26), torna-se possível a fixação biológica do dióxido de carbono pelas microalgas e sua respectiva conversão em matéria orgânica através de suas características fotossintetizantes, onde a cada 1 Kg de biomassa, torna-se necessário de 1,8 a 2,0 Kg de CO_2 [179] [180].



Figura 26: Fotobiorreator de microalgas [181]

Posto esse contexto e seu potencial de fixação do CO₂, por vias fotossintéticas, com auxílio do espectro visível da luz (400 nm-700nm) e dos fotobiorreatores, é possível gerar uma eficiência considerável de purificação do biogás [182].

Há diversas e distintas microalgas utilizadas para esta metodologia de purificação de biogás, contudo, segundo Doucha [183], estudos com *Chlorella* sp, com diâmetro entorno de 2 µm e 10 µm, exibiram uma eficiente capacidade de fixação de dióxido de carbono, rápido crescimento, elevada tolerância a ambientes adversos e inóspitos, além de maior produção de lipídios em relação as demais espécies [182] [183][183].

Devido a estas características, a *Chlorella* sp. costuma ser comumente utilizada nos processos de purificação de biogás. O cultivo desses microrganismos pode ser utilizado tanto para tanques abertos, quanto para biorreatores fechados, de forma que estejam expostos a Luz natural ou artificial [183].

O uso de fotobiorreatores diante dos tanques abertos de microalgas, torna-se vantajoso, devido a exigência de menores áreas para instalação e ao possível controle de suas condições de cultivo (intensidade de luz, pH, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido e controle da contaminação) [171] [183].

Contudo os custos de construção e manutenção de tanques abertos de microalgas são menores que os de fotobiorreatores e exibem menores especificações técnicas e menos complexos no que concerne sua manutenção. Ainda assim, devido a melhoria do processo de biometanização, o uso de fotobiorreatores é amplamente aconselhável [171] [183].

Para o crescimento das microalgas, quatro fases devem ser consideradas uma vez que se inicia seu cultivo (Gráfico 3) [176].

- Adaptação: *Caracterizada pela adaptação metabólica do meio e produção de enzimas de crescimento;*
- Exponencial: *Duplicação das células em um determinado intervalo de tempo máximo e constante;*

- Estacionária: *Taxa de Morte equivale-se a taxa de crescimento pela interrupção da divisão celular;*
- Morte: *Perda irreversível da capacidade de divisão celular.*

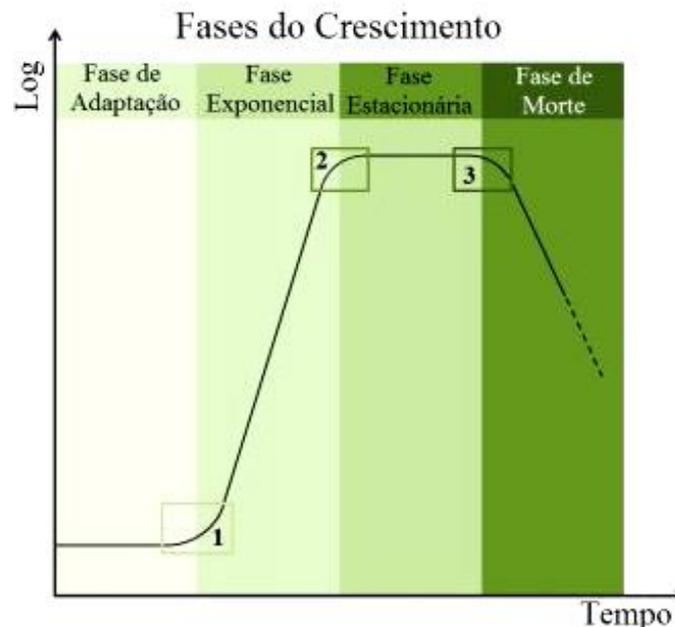


Gráfico 3: Representação gráfica do ciclo de vida de uma cultura de microalgas [176]

Entretanto, em meio as fases descritas e exibidas na figura anterior, representam o ciclo de vida das microalgas, sendo importante notar que o aumento de sua biomassa deverá estar relacionado, principalmente, a características como luminosidade, pH, macronutrientes e micronutrientes, tendo seu cultivo no biorreator gerado completamente em torno de 3 semanas [173].

Originalmente utilizados no tratamento de água e para produção de biodiesel, os fotobiorreatores agora são empregados na purificação de biogás pelo seu borbulhamento em sua estrutura, fazendo com que as microalgas realizem a fixação biológica de CO_2 e proporcionando uma elevação do contingente de metano [173].

Entretanto, o uso de fotobiorreatores, não conseguem ter satisfatória eficiência na remoção do sulfeto de hidrogênio (H_2S) da composição química de biogás, sendo, portanto, necessário o uso de um segundo processo para alcançar níveis satisfatórios do processo de biometanização [174] [176].

CAPITULO IV

4. ESTAGIO CURRICULAR

No dia 28/06/2019, foi iniciado o estágio curricular em uma microempresa denominada Lavouras da Fisga, sediada na freguesia de Medas, Conselho de Gondomar, região serrana do distrito Porto.

Como uma microempresa recentemente criada, Lavouras da Fisga tem como objetivo melhorar a qualidade de vida da população pertencente ao Conselho de Gondomar, por meio, de demais outros, do desenvolvimento de projetos ambientais que visem a criação de uma área de produção Agroflorestal Sustentável e assim cooperando com o fomento ao progresso tecnológico e científico do distrito do Porto.

No passar de décadas, o distrito do Porto vem ganhando considerável relevância, em diversos setores econômicos, sociais e ambientais. Nesse contexto, inúmeras freguesias têm se beneficiado com essa circulação de riquezas, como Medas, localizado no conselho de Gondomar, distrito do Porto [184] [185].

A freguesia de Medas adotada pela empresa Lavouras da Fisga como foco inicial de projetos de cunho ambiental, possui 12,47 km² e 2129 habitantes, exibindo uma densidade populacional de 203,3 habitantes/km². Possui considerável potencial ao desenvolvimento turístico, a pesquisas em energia renovável, ao incremento da biodiversidade florestal, a melhoria da produção agrícola, entre outros aspectos [184] [185].

Segundo o Plano de Ordenamento da Abulfeira de Crestuma-Lever (POACL), sua localização geográfica e proximidade com o Rio Douro, permite uma circulação turística a região, principalmente pela existência de um complexo de camping, possibilitando a instalação de empresas, como a AIRBNB. Além de seu clima e posição topográfica exibirem uma condição perfeita para residir, seja por temporadas ou permanentemente [186].

A existência de diversos terrenos agricultáveis próximos a setores florestais permitem a criação de projetos que gerem uma melhoria contínua da produção, por meio do desenvolvimento de uma agricultura sustentável, que

gere um incremento da biodiversidade da fauna e da flora da região, enriquecendo o solo, aprimorando a qualidade dos recursos hídricos e potencializando a qualidade do ar [187] [188].

Apesar da presença de empreendimentos de produção energética, a criação animal presente na área em questão, mesmo que em pequena escala, atrelada aos seus respectivos resíduos [189], proporciona a geração de biogás, o qual, segundo dimensionamento produzido (Tabela 12), permite o abastecimento energético de até 22 a 23 casas ao mês [190].

Além disso, associado a produção de biogás, há a geração de biofertilizante, com microrganismos vivos [17] [18], que quando aplicado ao solo, a sementes, a superfície da planta, coloniza a rizosfera ou o interior da espécie e promove seu crescimento [189], disponibilizando e suprindo estes com nutrientes essenciais para seu melhor desenvolvimento [19] [20].

A quantidade hídrica disponível, seja por meio de nascentes, rio ou mesmo águas subterrâneas, possibilita o aperfeiçoamento de trabalhos agro sustentáveis, de cunho a otimização da biodiversidade [189] [191].

Exibindo espécies de Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Sobreiro (*Quercus suber*), Azinheira (*Quercus ilex*), Carvalho Americano (*Quercus coccínea*), Pinheiro Bravo (*Pinus pinaster*) e Pinheiro Manso (*Pinus pinea*), a região compõe um ecossistema característico das florestas portuguesas, corroborando ao desenvolvimento de metodologias de controle das relações bióticas, devido ao ataque de possíveis pragas, sendo panorama a modelos de melhoria contínua de suas inter-relações [189] [192].

Conseqüentemente e por efeito do sinergismo das relações entre fatores bióticos e abióticos, preservar a região, montar um modelo de sustentabilidade, visando o crescimento da biodiversidade florestal e harmonização dos vínculos entre o ser humano e o ecossistema, fazem de Medas um centro de pesquisas para a melhoria contínua da qualidade de vida e um motivador ao desenvolvimento de projetos [192].

Um último aspecto importante da freguesia de Medas, reside no fato de que a região é alvo de incêndios [193]. Um deles gerado recentemente, segundo o Jornal de Notícias, em 23 de janeiro de 2020 [194]. Portanto, viabilizar projetos de

cunho sustentável, de forma a desenvolver a biomassa florestal, permite não apenas uma melhoria do ecossistema, como elevada a segurança e qualidade de vida de uma população [195].

4.1. *Produção Agroflorestal Sustentável*

A produção agrícola durante décadas, vem sendo um paradigma dominante à melhoria contínua do desenvolvimento sustentável, uma vez que além de correlacionada a uma atividade dominante fornecedora de alimento, é também, se não administrada e gerenciada sob os moldes de uma pegada ecológica [43] [44], um grande gerador de impactos a saúde humana e aos ecossistemas que o cerca [196] [197].

Surge então a necessidade uma produção agrícola consoante a manutenção do ambiente, de forma a conserva-lo e gerencia-lo, proporcionando uma sustentação dos recursos materiais e energéticos [196] [197]. Nesse contexto que emerge o termo, então referido anteriormente, de pegada ecológica (PE) [43] [44].

A Produção Agroflorestal Sustentável vem para unir o modelo de produção agrícola a preservação do ecossistema florestal, proporcionando um cultivo que possa adentrar em associação com o crescimento da biomassa ao redor, permitindo o desenvolvimento de diversos projetos, como saneamento, biodigestão, melhoria da qualidade do ar, hidrológicos, hidrogeológicos, entre outros [198] [199].

Para tanto, o estágio curricular desenvolvido na empresa Lavoura da Fisga visava a introdução de sistemas de biodigestão e estudos pedológicos em uma determinada área localizada na região Serrana do Porto (Figura 27) [190], de forma a elevar o contingente energético e denotar possíveis metodologias para sua respectiva distribuição, para além do uso de biofertilizantes para melhoria da qualidade do solo.

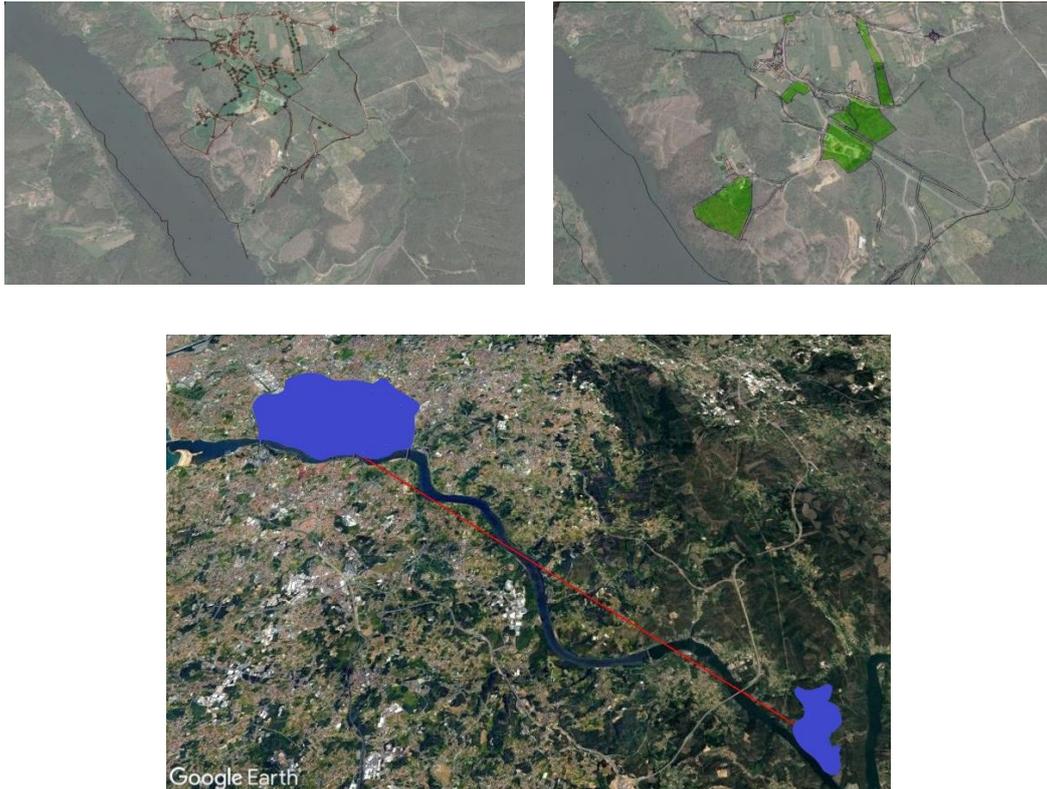


Figura 27: Imagem georreferenciada da região Lagoa da Bouça, com uma área de 23167 m², com respectivo mapa de localização em relação ao conselho do Porto. A imagem à esquerda representa a área inicial de atuação, a direita a mais recente cedida a empresa para o desenvolvimento dos trabalhos e abaixo concernente ao mapa de localização da região em estudo [190].

O estágio fora interrompido antes que pudesse observar a finalização dos trabalhos e mesmo, em vistas ao acompanhamento e desenvolvimento de projetos a distância, houve sua suspensão em razão de uma pandemia mundial (COVID-19).

Entretanto, foi realizado um período de 7 meses trabalhos, os quais são descritos neste projeto de dissertação, suas perspectivas, observações e resultados.

As metodologias estudadas e propostas para implementação de um modelo de produção Agroflorestal Sustentável, como parte de um estágio curricular, foram aquelas associadas a melhoria da qualidade do solo em meio a uma produção agrícola associada a cogumelos, através de processos de biodigestão (uso de biofertilizantes), com respectiva proposta de armazenamento de energia limpa gerada no decorrer do processo.

Como princípio inicial, os trabalhos tenderam a utilizar associações Micorriza das espécies de fungos para auxiliar no crescimento de biomassa

florestal e proporcionar uma melhor produção agrícola, devido a associações mutualísticas simbióticas existentes entre fungos e raízes, proporcionando absorção de água e sais minerais do solo, como fósforo e nitrogênio, em razão do aumento da rizosfera [200] [201].

As vantagens de uma associação Micorriza está no fato do fortalecimento das espécies de plantas, possibilitando a absorção de água e a possibilidade de adaptação a climas secos, para além das espécies fúngicas terem acesso a fontes de carboidratos e aminoácidos essenciais para o seu crescimento, estabelecendo assim uma interação ecológica [200] [201].

Com a melhoria da qualidade do solo atrelado sistemas de biodigestão [3] e uso de associações Micorriza, é possível a implantação de uma produção agrícola com um menor impacto ao ecossistema florestal [202], podendo o homem e o ecossistema biótico coexistir sem consequências as gerações futuras e, portanto, ao desenvolvimento sustentável [200] [201].

4.1.1. *Estudos pedológicos*

Para o desenvolvimento de projetos com incremento da biodiversidade florestal ou mesmo para a própria produção agrícola, torna-se necessário conhecer os inventários do solo por meio da ciência pedológica [203], a qual define solo como um corpo dinâmico resultante de processos de alteração e modificação da rocha ou sedimento, seja por meios antrópicos ou não [203] [204].

A análise do solo permite conhecer previamente os possíveis resultados de uma atividade que ali deseja-se que seja realizada, prevendo seus possíveis meios de correção. Logo, seu prévio conhecimento possibilita entender o solo como um excelente indicador ambiental [203] [204].

Importante observar que as camadas horizontais sobrepostas do solo, reconhecidas como Perfil do Solo e as quais originam-se de processos e fatores combinados ao longo dos anos (lixiviação, água, vento, microrganismos), alterando sua constituição, são divididas em 6 subdivisões, denominados horizontes do solo (Anexo 2) [204] [205].

Os horizontes ainda podem ser definidos em horizontes pedogenéticos, com aspectos morfológicos (cor, textura, estrutura de porosidade) e horizontes

diagnósticos, relacionados a certos atributos e conhecidos como perfis do solo [204] [205]. Dependendo da quantidade de perfis, os solos podem ser considerados maduros, jovens ou imaturos (Anexo 3) [204] [206].

Para além, dos horizontes do solo, este ainda pode possuir 13 classificações, como Argissolo, Cambissolo, Chernossolo, Espossolo, Gleissolo, Latossolo, Luvissolo, Neossolo, Nitossolo, Organossolo, Planossolo, Pintossolo, Vertossolo (Anexo 4) [204] [205].

Em uma última análise sobre os respectivos processos pedogenéticos, os solos ainda exibem, em meio as seções verticais de seus horizontes, o conceito de textura e para tanto, divide-se em argilosa, siltosa e arenosa [207] [208].

Os solos arenosos dividem-se em partículas de areia fina ($0,05 \text{ mm} \leq \text{diâmetro} \leq 0,2 \text{ mm}$), areia média ($0,15 \text{ mm} \leq \text{diâmetro} \leq 0,84 \text{ mm}$) e areia grossa ($0,2 \leq \text{diâmetro} \leq 2$) [207] [208], visíveis a olho nu e não exibindo coesão (facilmente separáveis uns dos outros), salvo em momentos de coesão temporária. Possuem também grande permeabilidade [209] [210].

Já os solos argilosos, caracterizam-se por grãos microscópicos (diâmetro $\leq 2 \text{ }\mu\text{m}$) [208] [209], com cores vivas e de alta impermeabilidade, fáceis de serem moldadas com a água, possuem baixa desagregação, formando barro plástico e viscoso, quando úmido [210] [211].

Sobre um olhar da mecânica dos solos, quando nos referimos a terrenos que possuem em sua constituição, elevada quantidade argila em suas seções verticais, é possível a formação de taludes com ângulos verticais praticamente. Em paralelo, a plasticidade da areia e sua boa capacidade de aglutinação, possui diversos usos na construção civil, como argamassa de assentamento, revestimento e mesmo na preparação de tijolos [212] [213].

Entretanto, os solos siltosos ($0,002 \leq \text{diâmetro} \leq 0,05$) [207] [208], são aqueles que possuem uma textura entre a areia e a argila, sendo um pó, sem coesão e com boa plasticidade, formando uma constituição de barro quando em momentos chuvosos [209]. Não apresentam boa estabilidade, podendo sofrer erosão com facilidade e desagregação natural [211].

4.1.1.1. Trabalhos práticos e suas observações

Em uma análise inicial, foram cavados 21 m de solo, de forma a analisar seu perfil, tendo observado, por tanto, os horizontes O, A, E, B, C (Figura 28) [207] [205] [208].

Com relação as características do perfil do solo, sua drenagem, coloração, textura, entre outros fatores, estudados e analisados no decorrer de uma semana [211], com auxílio da tabela de classificação da Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA) [205] [208], chegou-se à conclusão que se trata de um Cambissolo [210] [214].



Figura 28: Material fotográfico dos perfis do solo, com início do aparecimento do horizonte C, após escavação de 51 m de profundidade [190].

Como algumas características de um Cambissolo variam conforme a área em que se encontram [210] [214], foram coletas amostras de solo de cada horizonte,

realizando um elutriado para análise da textura [207] (Figura 29). Para além disso, também foram verificadas algumas características químicas deste mesmo solo, assim como seus nutrientes [209] [214].

Os resultados obtidos no que concerne a uma análise química, foi um pH ácido, com valores entre 4,5 a 5, com água incorporada aos vazios do solo exibindo uma dureza de 50 dKH (dureza moderada), com humidade variando entre 14% e 16 % [209] [215].



Figura 29: Elutriado de solo para análise de textura [190].

Durante a análise dos elementos químicos presentes na água, não foi possível observar a presença de Magnésio no solo, devido à falta de recursos para tal [215].

Entretanto, como a dureza apresentada durante a análise do elutriado, contendo os componentes químicos do solo, apresenta um valor entre 40 dKH e 100 dKH, pode-se concluir que há uma baixa quantidade de sais, com pouco cálcio e magnésio dissolvidos, não vindo a gerar, por tanto, em uma análise preliminar, problemas ao ecossistema em geral [209] [215].

Não foi possível a experimentação do tamanho dos grãos, realizando-se apenas uma revisão bibliográfica como exposto acima, devido a falta do granulometro, dificultando a plotagem de uma curva granulométrica, assim como a capacidade de água disponível no solo (CAD), com seus respectivos valores de ponto de murcha, tendo estes como propostas futuras de análise [190] [215].

Ainda em relação a composição química do solo (Tabela 9), utilizando reagentes e equipamentos de laboratório, foram encontradas as quantidades químicas dos elementos NO_2 , PO_4 , NO_3 , Fe, Ca, Cu, Cl, O_2 [215].

Tabela 9: Concentrações químicas na solução de extração do solo em g/Kg [215].

COMPOSIÇÃO QUÍMICA	VALORES (mg/Kg)
No ₂	0,125
Po ₄	0,025
No ₃	2,5
Fe	0,05
Ca	25
Cu	0
Cl	0
O ₂	10

É importante observar, que os valores de oxigênio, variam, no solo, conforme a incorporação de água em seus vazios, em conformidade com a Lei de Darcy, que descreve a mecânica dos fluidos em meio poroso. Portanto, os valores adquiridos de 4 mg/L, podem ter sido ocasionados devido aos dias de seca, com pouca humidade ou chuva [216] [217].

Na preparação do elutriado, foram introduzidos ao solo 20 mL de água destilada, 50 g de hidróxido de sódio e 125 mL de água deionizada de forma a completar o volume de 250 mL [209] [215].

Uma vez no recipiente, a amostra de solo foi misturada aos componentes introduzidos e tampada com um plástico não transparente, colocando-a sobre a bancada por um período de 24h, de forma a gerar uma decantação gravimétrica [215].

Em decorrência do período que se deve aguardar para decantação gravimétrica, no que concerne a análise da textura do solo [209], deu-se então continuidade ao estudo, realizando o teste de infiltração [215] [218].

O teste de infiltração se baseou em encaminhar amostras de cada um dos horizontes a um filtro e contabilizar o tempo por meio de um cronometro, observando então as características de permeabilidade das amostras [216].

O procedimento do teste de infiltração foi repetido 3 vezes, para confiabilidade dos resultados. Ambos os horizontes exibiram tempos diferentes (Tabela 10) de infiltração, dependendo da composição que possuíam, sendo

posteriormente, plotado um gráfico barra para melhor observação dos resultados (Gráfico 4) [215] [218].

Tabela 10: Respectiveos tempos de infiltração para os perfis dos horizontes do solo [216] [218].

INFILTRAÇÃO (1 KG/0,5 L)	TEMPO (S)
Horizontal O/A	36,5
Horizonte E	18
Horizonte B	7
Horizonte B/C	25

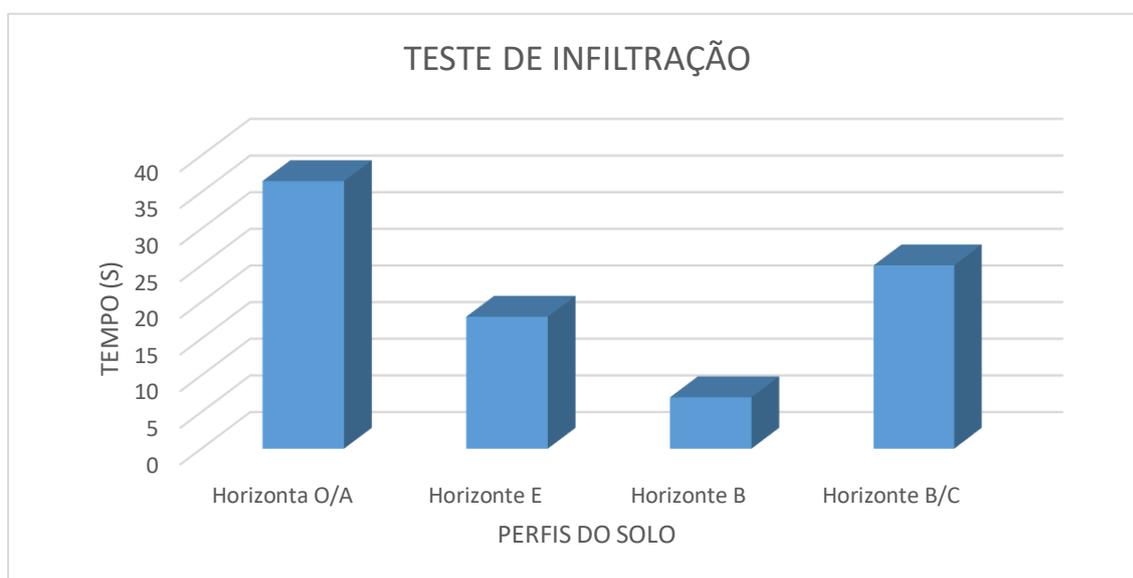


Gráfico 4: Representação em gráfico 3D barra, da infiltração da água nos respectivos perfis do solo [216] [218].

Pode-se observar que a houve um maior tempo de infiltração para o primeiro horizonte, fato este que pode ser explicado pela maior porção de argila presente no mesmo e este, como citado anteriormente, possui alta impermeabilidade.

Contudo, no Horizonte B/C, a fração de silte prevalece e está pode ser desde semipermeável a impermeável [205] [217], o que explicaria seu tempo de infiltração [216] [218].

Entretanto, a análise acima realizada para os testes de infiltração, só foram possíveis de concluir após os resultados dos testes de textura [215], seguidamente a um tempo de espera equivalente a 24 h [216], para que ocorresse decantação gravimétrica nos elutriados dos perfis do solo [217] [218].

Após 24 h, cada uma das amostras fora destampadas e notou-se que a argila se encontrava na parte superior a proveta e o silte misturado a areia na região inferior a mesma (maior densidade). Posteriormente, estas foram transferidas a peneiras granulométricas e então separadas as frações textuais (Figura 30), estimando seus respectivos valores com auxílio da graduação de tubos Falcon [215].



Figura 30: Frações de argila, silte e areia após peneirarem. A imagem superior esquerda, representa a fração argila húmida, a superior direita, a fração silte húmida e a imagem inferior, a fração areia com reduzida quantidade hídrica [190].

Com os valores em massa húmida medidos, salvo a areia, em que há reduzida quantidade de água ou mesmo desprezível, as amostras de argila e silte de cada horizonte foram encaminhadas a um forno a 60 °C e após um tempo de 20 min, medidos a massa seca (Tabela 11), podendo então ser plotado o respectivo gráfico (Gráfico 5) [215].

Tabela 11: Valores das Frações de argila, silte e areia, em massa úmida e massa seca [190]

Horizontes	Argila (Fração húmida) mL	Argila (Fração seca) MI	Silte (Fração Humida) mL	Silte (Fração Seca) mL	Areia mL
O/A	57,5	25	40	20	10
E	107,5	67,5	202,5	60	5
B	82,5	37,5	87,5	20	5
B/C	67,5	17,5	105	47,5	0

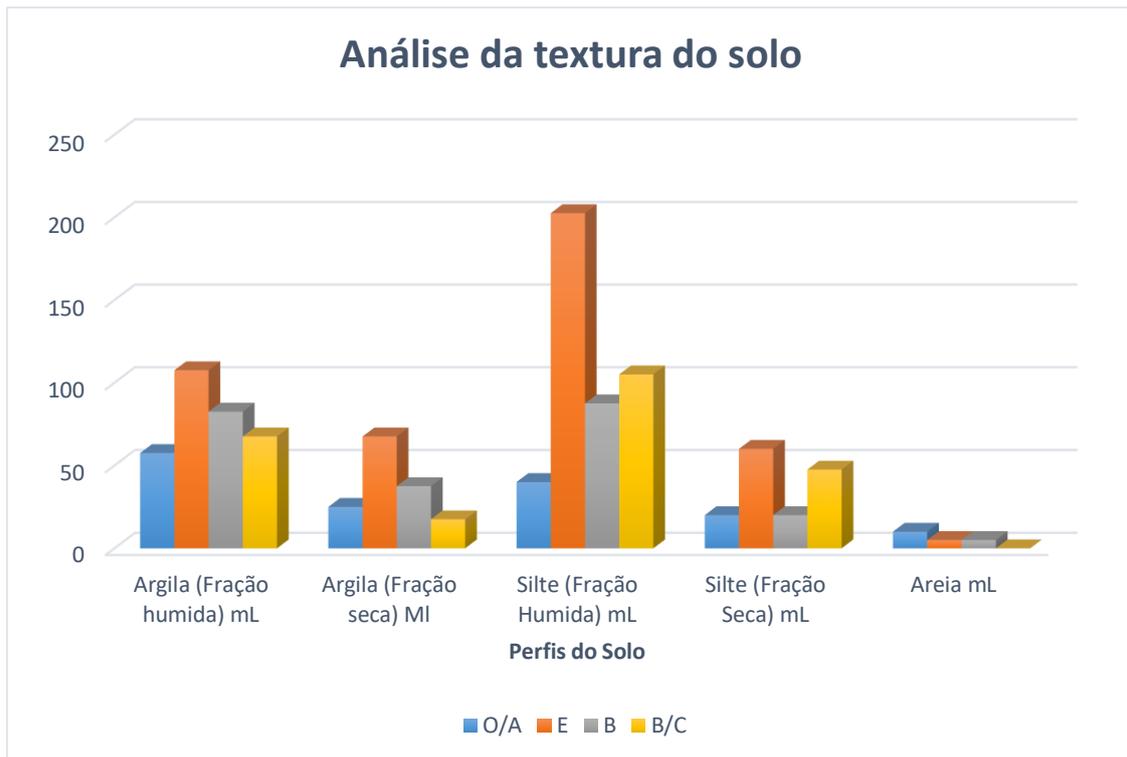


Gráfico 5: Representação 3D em gráfico barra, das frações de argila, silte e areia, em massa úmida e massa seca [190].

Por fim, um último parâmetro analisado refere-se à capacidade de troca catiônica (CTC), exibindo uma saturação desta CTC por bases entorno de 34,5 % [215], externando a necessidade de calagem ou demais metodologias, como o uso de biofertilizante, cujo além de possibilitar a elevação do pH, proporciona um aumento desta saturação a 65% ou mais (ideal para cultivou ou plantio) [219].

4.1.2. Proposta de Biodigestão

Pós análise pedológica, houve continuidade dos trabalhos através do dimensionamento de biodigestores. Era interesse da empresa em desenvolver uma metodologia que propiciasse a produção de biofertilizante com baixos custos e reduzido espaço de operação, uma vez que já dispunha execução projetos de compostagem.

A compostagem consiste numa metodologia de digestão biológica sob condições não tão controladas, representando um processo natural de decomposição orgânica, convertendo resíduos em rejeitos sob a forma de adubo (Anexo 5), em um meio aeróbio, expondo uma vertente doméstica para reaproveitamento de alimentos e uma tendência industrial para produção de

fertilizante orgânico, sendo, portanto, atrativa ao conceito de desenvolvimento sustentável [220] [221].

Assim sendo, análogo aos motivos que estimularam iniciativas proporcionadas pelo Governo de Portugal e de determinados distritos do país [222] [223], referentes implantações de composteiras domésticas, para além dos benefícios acima descritos, a empresa Lavouras da Fisga adotou esta metodologia como projetos iniciais de gestão resíduos orgânicos.

Nesse sentido, associado ao entusiasmo alusivo a um desenvolvimento científico empresarial, de forma a ampliar projetos ambientais de menor custo e com maior rendimento e eficiência, para além da busca de novas perspectivas ambientais, a empresa Lavouras da Fisga iniciaram projetos voltados a perspectiva da biodigestão.

Apesar da compostagem ser de considerável relevância, no que diz respeito ao aumento do tempo de vida de aterros sanitários [224] [225], assim como melhoria da qualidade de tratamento de seus resíduos, para além de estar em conformidade as perspectivas expostas no RIO+20 e no PERSU 2020+ [73] [87], sua aplicação encontra-se condicionada existência de maiores áreas em comparação com processos de biodigestão [126].

PERSU 2020+, em particular, consiste no plano estratégico de gestão de resíduos para Europa, concernentes a conceitos respeitantes de uma Economia Circular, com utilização sustentável dos recursos e incremento da vida útil da matéria prima. Define metas futuras de reutilização e reciclagem, estabelecendo uma visão clara no tocante a potencializar e garantir a gestão de resíduos urbanos [226].

Segundo VIDILI, em correspondência ao evidenciado acima, a compostagem auxilia na recuperação de resíduos e na redução daqueles expostos em aterros sanitários, cujo em paralelo com o princípio de compostagem caseira, eleva a aplicabilidade e eficiência no método de valorização de resíduos urbanos [226].

A metodologia de compostagem, permite ainda a inserção de um número mais diversificado de resíduos relativamente ao processo de biodigestão (Anexo 6), mas devido inevitabilidade de maiores áreas comparativamente a presente

em biodigestores, em paralelo a reduzida produção de biogás e a premência na redução de resíduos orgânicos, o panorama da biodigestão acaba por ser tornar atrativa a uma sociedade [112] [128].

É importante observar que o uso de metodologias de biodigestão não eximem a importância daquelas pertinentes a compostagem, ambas auxiliam no desenvolvimento sustentável de uma região ou país, ostentando produtos e vantagens distintas a sociedade em cada processo [112].

Parte do desenvolvimento deste projeto voltado para biodigestão, no entendimento a um estágio curricular, vem denotar soluções que possibilitem o uso dessa tecnologia no ambiente rural português, permitindo uma melhoria contínua do processo produtivo, atrelado ao desenvolvimento do ecossistema florestal.

A corrida para o desenvolvimento de tecnologias de biodigestão tem evoluído no passar de décadas [125], tendo cada país exibido esse modelo baseado em suas necessidades, como na Bélgica, em que realizam processos físico-químicos no biofertilizante, para obtenção de nutrientes e geração de água límpida [106] [126].

Entretanto, ao nos referimos a solos portugueses, principalmente no tocante a sua acidez, o uso de biofertilizante natura em solo, auxiliará a manter o pH dos mesmos em um nível de neutralidade ($\text{pH} = 7$) [23] [24].

É nesse contexto, utilizando o biofertilizante em solos florestais e mesmo agrícolas, vinculado a proposta de uso do biogás para abastecer as casas da freguesia de Medas, em que sua utilização, auxiliará na criação de uma área agrícola florestal sustentável.

4.1.2.1. Dimensionamento, perspectivas e conclusões

No decorrer dos trabalhos realizados na empresa Lavouras da Fisga, foi desenvolvido um dimensionamento (Tabela 12) de produção concernente a um biodigestor, baseado na matéria prima disposta e nos espaços disponíveis a sua instalação.

Os cálculos e resultados adquiridos no dimensionamento de um biodigestor, permitiram estabelecer os parâmetros para sua instalação e

operação, assim como os benefícios que seus produtos venham a gerar para o desenvolvimento de uma agricultura auxiliadora na promoção da biomassa florestal [125] [190].

Tabela 12: Dimensionamento de um biodigestor de batelada (bate), representando, dentre outras informações respeitantes a seus produtos, o total de biogás gerado, assim como contingente de metano produzido e de biofertilizante formado na câmara de fermentação [125] [174] [190].

PARÂMETROS	DADOS	UNIDADES
RESÍDUO ORGÂNICO PRODUZIDO PELAS ESPÉCIES DE OVELHAS ADULTAS POR ANO	1360	Kg/ano
RESÍDUO ORGÂNICO PRODUZIDO PELAS ESPÉCIES DE OVELHAS JOVENS POR ANO	907	Kg/ano
ELUTRIADO BASEADO NA RAZÃO 1:2 (Vazão Média)	150	m ³ /dia
DQO DA ÁGUA RESIDUÁRIA	745	Kg/L
TEMPO DE RETENÇÃO HIDRAULICA (TDH)	60	dias
ALTURA DO REATOR	4	m
LARGURA DO REATOR	2,67	m
COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (REFERENTE A RAZÃO ENTRE LODO E ÁGUA RESIDUÁRIA)	0,21	Adimensional
COEFICIENTE DE PRODUÇÃO DE SÓLIDOS (REFERENTE A RAZÃO ENTRE SST E ÁGUA RESIDUÁRIA)	0,18	Adimensional
NÚMEROS DE REATORES (Nr)	1	Adimensional
CONCENTRAÇÃO ESPERADA PARA O LODO DE DESCARTE	0,04	Adimensional
DESIDADE DO LODO ANAERÓBICO	202	Kg/m ³
CICLO DE OPERAÇÃO DOS LEITOS	10	dia
TAXA DE APLICAÇÃO DOS SÓLIDOS NO LEITO (ADOTADO PARA O REATOR EM QUESTÃO)	20	Kg SST/m ²
NÚMERO DE LEITOS DE SECAGEM	3	Unidades
DIAMETRO DOS TUBOS DE DISTRIBUIÇÃO	5	m
DISTANCIA ENTRE O LOCAL DE SAÍDA DO RESÍDUO E O FUNDO	2	m
ÁREA DE INFLUENCIA DA DISTRIBUIÇÃO	5	m ²
CONSTANTE UNIVERSAL DOS GASES IDEAIS	0,082	Atm L/mol K
TEMPERATURA DO MÊS MAIS FRIO	278	K
VALOR DE PRESSÃO CONSIDERADO COM BASE NA TEMPERATURA NO MÊS MAIS FRIO	1,018	Atm
PARÂMETROS	DADOS	Unidades
CARGA ORGÂNICA	111,8	Kg DQO/dia
NÚMERO DE OVELHAS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	30,0	Espécies
	45,0	Espécies
VOLUME DO REATOR	4500,00	m ³
VOLUME DO MÓDULO	4500,00	m ³
ÁREA DO REATOR POR MÓDULO	1125,00	m ²
DIAMETRO	37,86	m
VAZÃO MÉDIA POR MÓDULO	150,00	m ³ /dia
VAZÃO MÁXIMA POR MÓDULO	300,00	m ³ /dia
CARGA ORGÂNICA VOLUMÉTRICA POR MÓDULO	0,025	(Kg DQO)/m ³ *dia
CARGA HIDRAULICA VOLUMÉTRICA POR MÓDULO	0,0014	(m ³ /m ³)*dia
VELOCIDADE MÉDIA SUPERFICIAL	0,13	m/dia
VELOCIDADE MÁXIMA SUPERFICIAL	0,27	m/dia

ESTIMATIVA DA DQO DA ÁGUA RESIDUÁRIA (60%), PARA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO	298	Kg/L
CARGA DE DQO REMOVIDA E CONVERTIDA EM METANO	35313	Kg/dia
FATOR DE CORREÇÃO	2,84	Adimensional
VAZÃO DE METANO	12424,66	Kg/dia
VAZÃO DE BIOGÁS (75% DE METANO PRESENTE NO BIOGÁS)	16566,21	Kg/dia
VOLUME DO BIOGÁS GERADO	358,29	m³
QUANTIDADE DE ENERGIA GERADA PELO BIOGÁS	2328,86	Kwh
NÚMERO DE CASAS ABASTECIDAS PELA ENERGIA ADVINDA DO BIOGÁS	68,50	Casas
	70,57	Casas
BIOFERTILIZANTE	149,1	m³/dia
PRODUÇÃO DE LODO	12069,00	Kg SST/dia
VOLUME DO LODO	1493,69	m³/dia
MASSA DO LODO RETIDA NO REATOR	120690	Kg SST
VOLUME DE LODO RETIRADO NO CICLO DE OPERAÇÃO	14936,9	m³
ÁREA NECESSÁRIA PARA OS LEITOS	6034,5	m²
ÁREA POR LEITO DE SECAGEM	2011,5	m²
LARGURA DO LEITO DE SECAGEM (B)	31,7	m
COMPRIMENTO DO LEITO DE SECAGEM (L)	63,4	m
ALTURA DA LAMINA DE LODO	0,25	m
ÁREA TOTAL DOS TUBOS DO REATOR	70,65	m²
NÚMERO DE TUBOS DE DISTRIBUIÇÃO	14,13	Tubos
NÚMERO DE TUBOS POR MÓDULO	2,83	Tubos

No início dos trabalhos foi proposto o desenvolvimento de um biodigestor canadense, devido a simplicidade e facilidade de manutenção, apesar de ocupar áreas em maior extensão. Contudo, em virtude de o modelo de produção de resíduos orgânicos ser baseado na ovinocultura e pelo fato do estrume ser retirado cada 15 a 20 dias, se recomendou a elaboração de um biodigestor de batelada (bate) [3].

Para calcular o volume em litros de biogás produzido, considerou como um gás ideal, temperatura interna do biodigestor igual a temperatura ambiente, com um valor de pressão, igual a temperatura do mês mais frio, como demonstrado na equação a seguir [121][125]:

$$V = \frac{KR(T_f - T_i)}{P}$$

Equação 10: Equação Clapeyron utilizada para encontrar o volume do biogás produzido. Tal equação também é conhecida como Lei dos Gases Ideais, a qual descreve o estado dinâmico dos gases ideais. V = Volume de Biogás; K= N° de mols da amostra gasosa; R = constante universal dos gases ideais (0,082 atm.l/mol.K ou 8,3 J/mol.K); Tf = Temperatura final; Ti = Temperatura Inicial; P = Pressão do gás [121] [125].

O biodigestor de batelada que se desejava adotar é constituído por uma câmara de fermentação cilíndrica, composta de alvenaria com gasômetro móvel, também em formato cilíndrico e cobertura abaulada, edificada por meio de material metálico, sendo simples sua construção devido a opção pela dispensa de caixas de carga e descarga, assim como seus respectivos tubos de carga e descarga [125] [227].

A abertura do biodigestor de batelada, para retirada do respectivo biofertilizante só pode ocorrer quando o nível de biogás decrescer, indicando a completa decomposição da matéria orgânica [3] [227]. Em média, para este tipo de biodigestor, sua abertura pode ser realizada de 40 a 60 dias após a carga de resíduo orgânico [3].

Uma vez no solo, o biofertilizante auxiliará na correção do pH, deixando-o entorno de 7,5 [23] [24] e aumentará a quantidade de matéria orgânica no solo, sem saliniza-los, não contaminando rios, ribeiras ou cursos d' água [19] [20], além de não apresentar odores desagradáveis, permitindo assim, que a produção agrícola transcorra de forma segura, adequada e eficiente [17] [18].

O uso de biofertilizante também pode auxiliar no crescimento da biomassa florestal [21] [22]. Seu uso reduz a necessidade de calagem dos solos e promove, dentre demais nutrientes, o aumento de nitrogênio, fósforo e potássio em sua estrutura [19] [20], para além de reduzir o estresse hídrico, proporcionando um bom crescimento e desenvolvimento sucessional das espécies florestais [17] [18].

Segundo o dimensionamento, o biodigestor de batelada, produz cerca de 149,1 m³ por dia de biofertilizante [3] [190]. A proposta para sua construção decorreu na escolha de uma área elevada, para que o biofertilizante possa ser encaminhado, através de uma canalização de PVC, diretamente ao campo e armazenado em caixas receptoras, onde poderia ser posto ao solo através de irrigação por gotejamento [227] [228].

A transferência do biofertilizante, ao campo ou ao ambiente florestal, seria realizado por sistemas de superfície, isto é, o gotejamento proporcionado seria realizado por intermédio de linhas de transmissão enterradas ao solo, a profundidade que permitam que ao biofertilizante aplicado atinja o volume

explorado pelas raízes das espécies da flora e cultivos agrícolas, sendo, portanto, tal procedimento denominado de gotejamento subterrâneo [227] [228].

Nos gotejamentos subterrâneos, o biofertilizante é inserido abaixo da superfície do solo, diretamente no sistema radicular, aproveitando a ocorrência do fenômeno de Aspersão Radicular, onde a água se eleva ao longo do perfil do solo por diferença de potencial total, viabilizando para além do fertilizante biológico, um maior contingente hídrico as espécies [227] [228].

Para que o processo de gotejamento subterrâneo ocorra de forma adequada, serão utilizados gotejadores autocompensados e não autocompensados (para cultivos de hortaliças) [227] [228].

Gotejamento é uma metodologia de irrigação eficiente, que fornece o produto, neste caso o biofertilizante, as espécies de plantas em quantidades ideais na fase de cultivo. Disposto diretamente a raiz, economiza recursos, fornecendo ao produtor uma maior capacidade de controle e monitoramento de sua produção com vistas a técnica de nutri-irrigação, sendo esta sustentável e econômica [227] [228].

A nutri-irrigação, é um conceito que vai além do princípio da Fertiirrigação, onde há aplicação de fertilizantes convencionais em sistemas de irrigação, tendo, geralmente, uma aplicação semanal ou quinzenal, distinta do processo de Nutri-irrigação, uma vez que propicia um fornecimento diário de solução nutritiva, inserindo nutrientes de maneira qualitativa e com frequências personalizadas [227] [228].

Por intermédio de programações nutricionais mensais, a demanda de cada fase fenológica, permite injeções de solução nutritiva diariamente, com 20 aplicações no mês, mantendo o solo sempre em teores adequados as plantas, sem que haja uma concentração elevada e gerando lixiviação de possíveis nutrientes [227] [228].

Entretanto, pelo fato de o biofertilizante possuir nutrientes necessários ao desenvolvimento da flora, dentre outras vantagens anteriormente exibidas, seu uso encontra-se dentro dos conceitos de nutri-irrigação, o qual, ao invés de injetar distintas soluções nutritivas ao solo, insere-se apenas este produto

proporcionado pela biodigestão, permitindo a melhoria de sua qualidade e reduzindo os possíveis riscos de salinização do solo [227] [228].

A qualidade do biofertilizante permitirá uma boa condução dos processos de simbiose entre fungos e plantas, chamados de micorrízicos, exibindo, geralmente uma associação mutualística entre dois ou mais organismos vivos, dividindo-se em dois grupos, as endomicorrizas e ectomicorrizas [229] [230].

As associações de endomicorrizas, exibem a hifa do fungo (Figura 29) penetrando nas células corticais da raiz da planta, onde são formadas pequenas estruturas densamente ramificadas, denominadas vesículas [231] [232]. Considerados arbusculares, suas hifas estendem-se para o solo aumentando a absorção de nutrientes [233] [234].

Entretanto as ectomicorrizas, realizam associações mutualísticas arbóreas, elevando sua resistência as condições de frio e seca. Seus micélios envolvem as células vivas das raízes, tendo o crescimento de suas hifas ocorrendo entre as células do córtex e da raiz, formando a rede de Hartig, a qual funciona como interface entre a raiz e planta [235] [236].

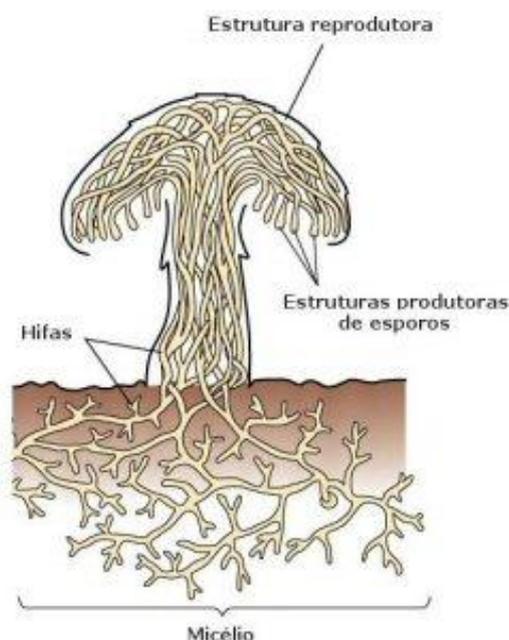


Figura 31: Representação em corte vertical da estrutura morfológica de um cogumelo. O micélio, formado por filamentos de hifas, constitui sua estrutura reprodutiva [237].

Para além de demais projetos propostos que se comprometam com a criação de uma área de produção agroflorestal sustentável, como metodologias de análise e estimativa de comportamento sucessional da biomassa florestal,

trabalhos em biodigestão associados a uma perspectiva de cultivo, que denotem um viés econômico e ambiental, permaneceram como um dos objetivos principais da empresa Lavoura da Fisga.

Por conseguinte, foram adotados para associar ao cultivo de hortaliças e oliveiras, o cultivo de espécies de cogumelos tanto por meio de simbiose ectomicorrizas, quanto por uma simbiose endomicorrizas, tendo o biofertilizante um contributo significativo, dentre outros fatores, na viabilização de nutrientes.

4.1.2.1.1. Associações Micorrízicas

Associações Micorrízicas reside em uma simbiose mutualística entre fungos e plantas, permitindo a obtenção de nutrientes e água [200] [201]. Independente da morfologia ou anatomia, os fungos propiciam o crescimento da espécie florestal ou do cultivo agrícola, em especial quando há exploração de um maior volume de solo, realizando processos de difusão em meio ao sistema radicular [238] [239].

Como critérios didáticos, existe vários tipos de fungos, que podem se dividir em parasíticos e mutualísticos. Estes últimos formam o grupo de espécies escolhidas para o desenvolvimento de uma área agroflorestal sustentável (Anexo 7) [240].

Consoante ao conceito didático, os fungos, sejam mutualísticos ou parasíticos, são seres eucarióticos, heterotróficos com nutrição absorptiva e reserva energética de glicogênio. Com estruturas somáticas distintas, estas, como os filamentos, quando em conjunto, formam as hifas, rodeadas por paredes celulares de quitina. Sua reprodução pode variar de forma assexuada ou sexuada mediante seus esporos [241].

Com relação as associações ectomicorriza, estas espalham seus propágulos ou esporos durante a reprodução, germinando e formando as hifas na rizosfera, cujo posteriormente, penetram nas junções celulares da conhecida Zona de Infecção Micorrízica (ZIM) [242] [243].

A ZIM encontra na região apical da raiz, onde as hifas realizarão a digestão enzimática do espaço intercelular, colonizando o córtex da planta e dando origem a então comentada Rede de Hartig, que é considerado intra-

articular ao manto rizomorfo ou cordões miceliais, agregados lineares extra articulares constituintes de um conjunto de hifas [243] [244].

Uma das grandes diferenças entre as ectomicorrizas e as endomicorrizas, encontra-se no fato que esta última não pode ser visível a olho nu [233] [234], uma vez que a penetração ocorre por meio intercelular, com também formação de manto, rede de Hartig e rizomorfo, como modificação acentuada no sistema radicular, com efeitos benéficos na absorção de nutriente, tolerância a estresse biótico e abióticos [245] [246].

Estudos bibliográficos denotam que fungos endomicorrízicos, penetram o sistema radicular sem causar danos, mediante uma infecção secundária, a datar da interface entre propágulos do fungo existentes no solo e as hifas que já se encontram no sistema radicular [233] [234]. Estimuladas por fatores abióticos e condições físico-químicas da rizosfera, crescem em abundancia, elevando o contato entre a raiz e o fungo [245] [247].

Conforme a infecção endomicorrízica se alastra, as hifas formam um apressório, que consistem em uma fixação sobre as células da epiderme da planta na zona de diferenciação ou alongamento e se espalhando pelo córtex intercelular [246] [247].

Com o tempo as espécies de fungos endomicorrízicos fixam-se de forma intracelular gerando hifas enveladas nas camadas mais externas do córtex da planta para posterior surgimento de vesículas e esporos, diferenciando-se dos arbúsculos formados nas camadas mais internas [245] [247].

Todo o crescimento e desenvolvimento dos fungos encontra-se relacionado as suas características morfológicas, condições ambientais, idade da planta ou tipo de simbiose [241].

Como questões de cultivo, foram propostos a seleção de dois grupos de plantas de cada espécie presente na região de estudo, tendo a correção do solo um fator importante para seu bom desenvolvimento, o qual se encontrava, por exemplo, com pH variando entre 4,5 e 5 [229] [230].

É fato que para se desenvolva um ambiente sustentável, não basta apenas realizar cortes em espécies e preparar inoculação do produto. A promoção da biodiversidade deve ser relacionada com o estudo da Silvicultura

e das relações hipsométricas, de forma que a produção agrícola não afete o ecossistema florestal ao redor, tendo seus desenvolvimentos indo além do proposto a esta dissertação [198] [248].

Para o desenvolvimento de uma área agroflorestal sustentável, de forma a tornar o projeto mais viável e rentável, a produção da semente deve ser realizada em local esterilizado, com controles das variáveis (umidade e temperatura) e posteriormente inserida em um respectivo substrato, que pode ser referente a madeira ou substrato de restos agrícolas, serragem ou palha [190] [239].

Para a produção da semente ou Spawn, o fungo a que se deseja cultivar, irá ser inserido em uma placa Petri com uma gelatina nutritiva ou fluido nutritivo, em uma estufa com ambiente esterilizado, em condições ideais de cultivo [190] [239].

Posteriormente, após seu desenvolvimento, uma parcela deste fungo é cortada (gelatina nutritiva) ou coletado por uma seringa (fluido nutritivo), para inserção em grãos agrícolas, esterilizados através de uma autoclave ou panela de pressão [190] [239].

Um fator importante a ser observado neste processo, é o crescimento exponencial da espécie. Neste contexto, uma moeda de 1 € repleta de fungo, produz o equivalente a 1 L de semente, assim como um 1 L de semente, produz 10 potes, estes 10 potes proporcionam a geração de 100 potes e assim sucessivamente [190] [239].

Após a semente ser produzida, o fungo deve ser transmitido ao substrato inserido no campo. Dependendo do substrato a ser utilizado, certos procedimentos devem ser realizados, como reuso da madeira e reflorestamento (nucleação ou enriquecimento), para substratos de madeira e pasteurização ou esterilização para os demais substratos, dependendo do fungo a que se deseja cultivar [190] [239].

O cogumelo Ostra, muito utilizado para processos de Micorremediação, como uma metodologia de redução de poluentes a níveis menos nocivos a saúde humana e prejudiciais ao meio ambiente, processos de pasteurização devem ser

executados. Já para o caso do Shiitake, muito utilizado na culinária, técnicas de esterilização devem ser efetuadas [190] [239].

Relativamente ao uso de madeira para o cultivo de cogumelos, as árvores serão separadas em lotes, com 8 árvores cada lote. Quando ocorrer o corte em um determinado lote, o próximo só deverá ser manejado de 4 a 6 meses após o primeiro corte. Em paralelo, técnicas nucleação e enriquecimento, principalmente das áreas de corte devem ser realizadas, de forma a desenvolver a biodiversidade local [249] [250].

Para o corte, o tronco deve ter entre 15 cm a 20 cm de diâmetro, de troncos de carvalho, faia, sobreiro, salgueiro, castanheiro ou eucalipto. Não é recomendado pinheiros e nem árvores com frutos. Os troncos não devem ter rachaduras ou ferimentos, e não devem possuir folhas [249] [250].

A furação deve ser realizada com uma ferramenta denominada berbequim, com furos distribuídos de forma irregular e radial ao longo do tronco (Figura 32) [250] [251].

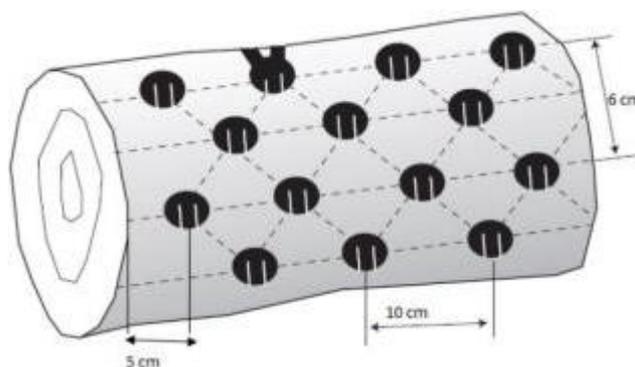


Figura 32: Desenho esquemático de uma Matriz de perfuração [251]

Todo o procedimento deve ocorrer em local limpo e esterilizado, em um ambiente de 2 °C a 4°C ou, como alternativa, em regiões húmidas, para que o procedimento de incubação ocorra com a máxima eficiência possível [250] [251].

Todos os envolvidos devem ser munidos de equipamentos necessários, como luvas, capacetes, ou mesmo, caso necessário, protetores auriculares. Os profissionais devem esterilizar suas mãos com álcool etílico a 70%. O uso de determinados equipamentos, como serra elétrica, deve ser feito por profissionais autorizados e certificados para tal [249] [251].

Durante a inoculação, é importante introduzir o micélio nos orifícios produzidos nos troncos pós-furação [250] [251]. Significativo observar que após o período de incubação e colheita, recomenda-se exercer um reuso da madeira, como procedimento de reciclagem, o enviando a indústrias capacitadas a este tipo de serviço ou mantendo os troncos as mesmas condições de incubação para seu reuso [250] [251].

Apesar de algumas literaturas afirmarem que a duração dos orifícios se apresenta em torno de 6 meses, experimentos práticos comprovam que o mantimento do tronco as condições de incubação inicial, possibilitam seu uso em um próximo período de incubação, principalmente se realizado em um galpão a 4°C [250] [251].

Em seguida, é proposto um procedimento de choque térmico e choque físico. O primeiro se relaciona em mergulhar os troncos em água fria, a baixo da temperatura ambiente ($<10^{\circ}\text{C}$), em um período entre 24 h e 48 h. Já o segundo, os troncos são levados a um abalo físico, donde são lançados verticalmente ao chão em queda livre [250] [251].

Após os procedimentos de choque térmico ou abalo físico, os troncos são transportados a um local húmido (80%) (Figura 33), sombreado e protegido contra insetos, lesmas e caracóis [250] [251], com prateleiras dispostas a cima da superfície e com 45 cm de distanciamento de uma para a outra (Figura 34) [249].

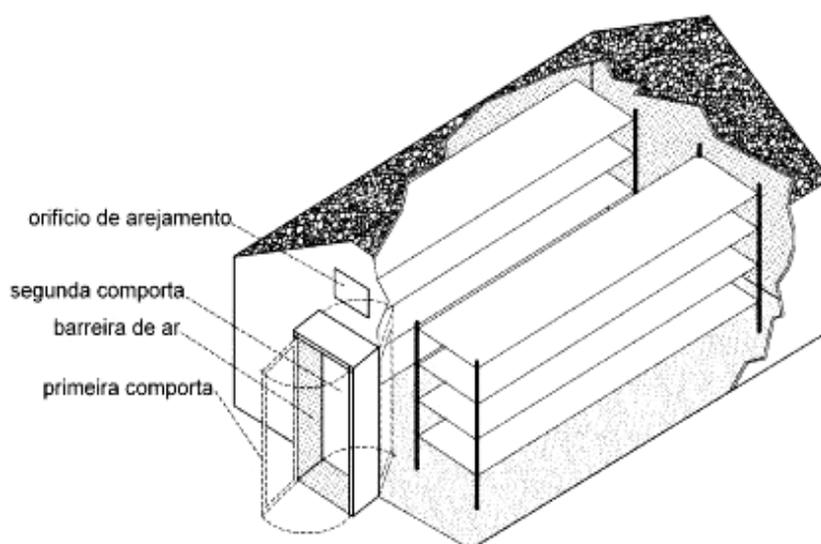


Figura 33: Local de Armazenamento dos cogumelos pós choque térmico [250] [251].

O micélio deve ser introduzido com um martelo de borracha, limpo e desinfetado, por ar comprimido, manualmente munido de luvas de borracha, ou através de uma seringa [249] [250]. Esta última consiste numa metodologia simples, diminuindo o risco de contaminação e podendo ser manipulada com os dedos ou com a palma da mão (Figura 35) [251].

Em Portugal, a época ideal para incubação é outubro e novembro [251]. A humidade do ar deve estar entornu dos 85% e no tronco, esta mesma humidade deve estar entre 35% e 45% [249] [251].

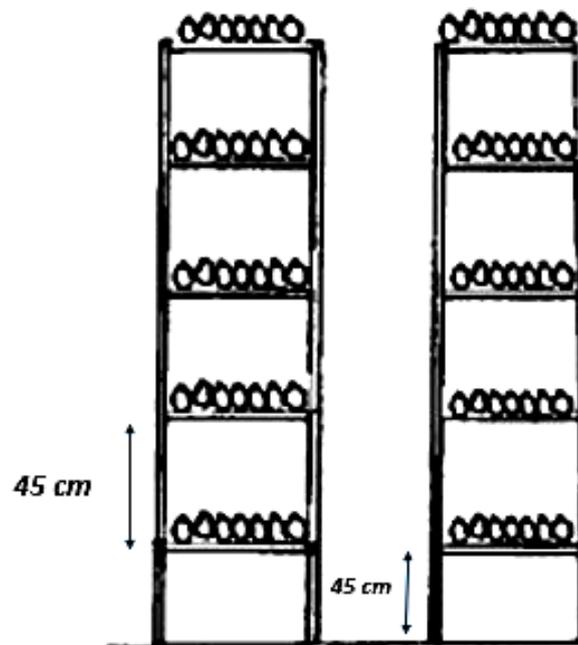


Figura 34: Corte transversal do conjunto de prateleiras para armazenamento dos respectivos troncos de incubação de micélio pós choque térmico ou físico [249]

A incubação realizada no exterior é mais vagarosa, devido as condições do clima, porém, se realizada em ambiente húmico, seu processo pode ser acelerado [249] [250]. Logo, o tempo de incubação não dependerá apenas das condições de cultivo, mas do local, do tipo de madeira, da espécie cultivada e mesmo da espessura do tronco, podendo então ocorrer o controle da produção [251].



Figura 35: Seringa para inoculação do micélio ao tronco [251].

Normalmente, em ambiente externo, seja pelo uso da madeira ou pelos demais substratos, o processo exige 4 inoculações, devido a não se haver um controle total das variáveis presentes no ambiente e, portanto, não haver condições ideais para manutenção do cultivo ao longo do ano.

Entretanto, devido ao conceito agroflorestal sustentável, consistir em um conjunto de metodologias, dentre elas a biodigestão, a inoculação de 4 reduz-se para 2 no campo, devido principalmente aos benefícios proporcionados pelo uso do biofertilizante, mantendo condições ideais de produção, em virtude de, dentre outras vantagens, aumento da retenção hídrica no solo (elevando a umidade) e dos nutrientes essenciais ao cultivo.

As formações dos primeiros cogumelos ocorrerão entre o 3 ou 4 dias pós procedimentos acima descritos (Figura 36). A coleta deve ser realizada, quando o chapéu apresentar uma abertura de 1/2 ou 1/3 de seu tamanho e de coloração esbranquiçada [250] [251]. Micélios de cor distinta, indicam a presença de contaminantes fúngicos, com a coloração cremosa e brilhante, denotando contaminação bacteriana [250].

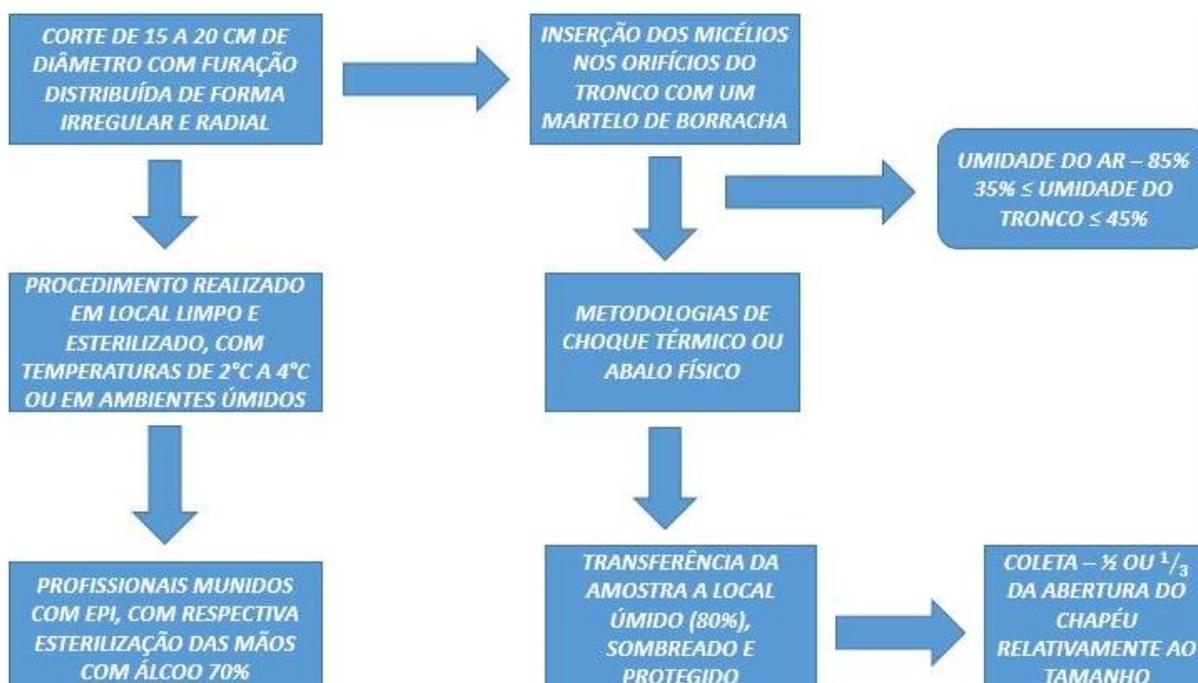


Figura 36: Desenho esquemático dos procedimentos de cultivo de cogumelos [190].

Portanto o uso de processos de biodigestão, para a criação de uma área de Produção agroflorestal sustentável, permite não apenas uma melhoria dos solos ou sua remediação, mas oferece vantagens diante da produção agrícola,

elevando a viabilidade e rentabilidade da produção, com vistas ao modelo econômico e de produção de alimentos.

Para além da melhoria da produção agrícola, seja pelo uso de biofertilizante por oportunizar uma adequada produção de Micorrizas de fungos no ambiente, auxilia no desenvolvimento sucessional das espécies florestais, com elevação da biomassa. Ademais, contribui para construção de um ambiente sustentável, promovendo circulação de riquezas a produtores rurais. Sendo uma alternativa econômica em muitos países da Europa e América [250] [251].

O uso de biofertilizantes em solos florestais, também permitem a melhoria da qualidade do solo, com uma maior obtenção de nutrientes, água e aminoácidos pelas respectivas espécies da flora e cultivos agrícolas, condições essenciais para uma correta interação ecológica, para além de providenciarem uma maior resistência a fatores bióticos e abióticos.

CAPITULO V

5. PESQUISA LABORATORIAL

A melhoria do desenvolvimento científico e das tecnologias presentes na contemporaneidade é um desafio a todo acadêmico e cientista, levando a adentrar em um universo de possibilidades, para o descobrimento de novas barreiras e fronteiras. Consoante a este pensamento, optou-se por desenvolver uma segunda etapa ao projeto, baseado na construção de um biodigestor experimental de bancada com propósitos didáticos [190].

Nesse contexto, elaborou-se uma metodologia para confecção de um biodigestor experimental de bancada, que simulasse um modelo de batelada (bate), propondo uma análise da produção de biogás por meio de resíduos orgânicos de origem animal. Seu fabrico seguiu parâmetros de um biodigestor experimental de bancada produzido no Brasil (Figura 37) [190].



Figura 37: Biodigestor experimental de Bancada confeccionado no Brasil [190].

Geralmente, como já comentado nos capítulos anteriores, a produção de metano superior a 60% ocorre após 4 semanas (~30 dias), quando, no decorrer do processo de biodigestão, inicia-se a etapa da metanização, com geração de biofertilizante na mesma razão hídrica existente na câmara de fermentação do biodigestor (1:1) [128] [129].

Houve o desenrolar de 3 tentativas para produção de um modelo que operasse adequadamente. Parte do material utilizado para sua manufatura eram objetos que seriam descartados, mas foram reutilizados [190].

5.1. Materiais e Princípios da elaboração

Reproduzindo a câmara de fermentação, foi escolhido um recipiente de reagente com volume total de 5,5 L (Figura 38), tendo optado por um Headspace equivalente a aproximadamente 2,0 L, simulando um gasômetro, sendo então inserido em uma Hotte (capela de extração de gases), por critérios de segurança, com um aquecedor para manter um ambiente externo constante a uma temperatura de 34,6 °C [190].

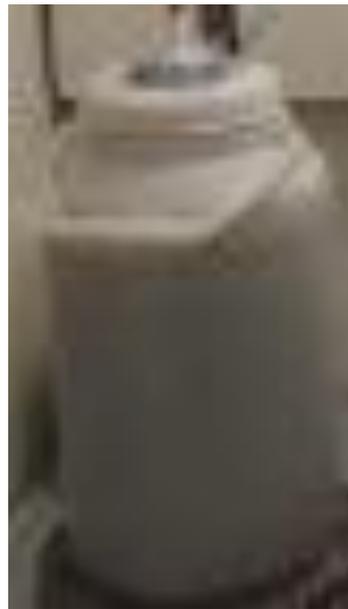


Figura 38: Recipiente de 5,5 L utilizado para atuar como um biodigestor de batelada (Bate) [190].

Conservar um ambiente adequado ao redor do biodigestor, superior a 30 °C e inferior a 37 °C (em caso de inserção de inóculo na câmara de fermentação), é importante para preservar um ambiente propício a biodigestão, de maneira a não haver alteração da temperatura metabólica gerada ao decorrer deste processo de digestão biológica [3] [252].

Relevante salientar que temperaturas externas são significativas para que os processos de biodigestão transcorram de forma adequada. De fato, temperaturas metabólicas abaixo de 15°C fazem com que o processo seja interrompido e acima de 60 °C possibilita a mortandade das colônias de bactérias, sejam elas mesofílicas (20 °C a 40 °C) ou termofílicas (40°C a 60 °C) [3] [153].

Portanto, a biodigestão, uma vez iniciada, exibirá temperaturas distintas em cada etapa de produção, mas todas variando entre 30 °C e 37 °C, dependendo

do tipo de metodologia adotada, se processando ou sendo inibida conforme o ambiente em que se encontre; Fato este que explicaria o motivo do processo se suceder em regiões de temperatura a 18 °C e não a 15 °C [3] [153].

Logo, é sugerível manter a temperatura externa ao biodigestor constante entre valores de 30 °C e 35,5 °C [3] [153], dependendo, conseqüentemente, da metodologia adotada, uma vez que ocorre processos de transferência de calor entre o biodigestor e o ambiente, fazendo com que a biodigestão possa ser acelerada, reduzida ou inibida [125] [155].

Nesse contexto e devido a outras experimentações, chegou-se à conclusão da importância do uso de um aquecedor na hotte, como procedimento adequado a manutenção da temperatura, permitindo que a mantivesse a um mínimo de 34,6 °C, variando para um máximo de 37,9 °C, nos casos em que a hotte fosse fechada por completo, assumindo uma temperatura média de 36,2 °C [190].

Na tampa do recipiente de reagente foram realizados dois furos, um para inserção da pá do Mixer Suspenso ou Agitador Mecânico Suspenso (Figura 39), e outro referente a um tubo de poliuretano (“1/2), para passagem do gás quando houvesse o preenchimento do headspace [190].



Figura 39: Imagem do Agitador mecânico suspenso empregado no experimento de biodigestão [190].

De forma a não haver desgastamento da tampa, um suporte fixo, referente a um tubo de borracha, fora posto entre a tampa do recipiente de 5,5 L e a pá do Mixer, com uma arroela de borracha concava 5/16 (Figura 40), normalmente utilizada para vedação em PCV [190].

Consoante a evitar escapes de gás entre o suporte fixo e o orifício na tampa, se vedou a arroela de borracha nas extremidades com cola de silicone. Ademais, o suporte fixo também pode ser substituído por um cano de PVC, desde que seu

tamanho e corte, estejam em conformidade com o exibido no orifício existente na tampa do recipiente [190].



Figura 40: Arruela de borracha côncava de 5/16 inserida entre o suporte fixo e o orifício da tampa do recipiente que se encontra atuando como biodigestor [190].

Quanto a pá do rotor, esta foi substituída por uma de menor peso e envolta com selofane. Todavia, apresentava um diâmetro inferior em comparação com a original (ferro) e de diferente material (pástico), fazendo com que pudesse haver algum escape entre a pá e o suporte fixo [190].

Consequentemente, posto ao abordado acima, uma braçadeira fora inserida, envolta por duas anilhas de borracha de 20mm de diâmetro externo e 10mm de diâmetro interno, reduzindo ao máximo o espaço entre o pá do rotor e as brechas ocasionada pela mudança de material (Figura 41), recobrando suas extremidades com cola de silicone, para então evitar possíveis escapes de gás [190].



Figura 41: Figuras representativas dos materiais empregados na confecção do biodigestor experimental de bancada. A figura a esquerda reflete a braçadeira utilizada e a direita retrata a anilha de borracha inserida em seu interior [190]

Ao decorrer do processo de biodigestão e durante o preenchimento do headspace, é gerada uma determinada pressão no interior do biodigestor, a qual não se foi possível estimar devido a falta de nanometro, mas em condições normais de temperatura e pressão (CNTN ou PTN), estes valores, conforme algumas literaturas, estão relacionadas segundo o volume e temperatura na escala Kelvin [190].

Geralmente as pressões no interior dos biodigestores costumam ser constantes. Sobre condições ideais, quanto a temperatura, razão hidrica, tempo de detenção hidráulica (TH), entre outros parâmetros, sua pressão interna se manifesta semelhante a pressão atmosférica, conforme o volume de biogás existente no headspace [253] [254].

Portanto, devido as possíveis pressões que possam ser ocasionadas ao biodigestor, acima da braçadeira e em suas extremidades, utilizou-se cola quente, como medida de segurança (Figura 42). Ademais, em razão do calor gerado no interior do biodigestor, não se foi vedado a parte inferior de sua tampa, pela dificuldade de se manter fixo as arruelas de borracha ou anilhas [190].



Figura 42: Imagem da área superior do biodigestor experimental de Bancada com revestimento de cola quente e cola de silicone e celofane recobrimdo a pá do rotor [190].

O tubo de poliuretano foi conectado a um medidor de fluxo (Figura 43), capaz de aferir o volume e a vazão máxima do biogás. Este quando transferido ao equipamento, é analisado pelo erguimento de uma pequena comporta, deslocando-se a um lavador de gases e posteriormente a uma proveta volumétrica fixada a uma haste universal com garras, através da extremidade de saída [190].

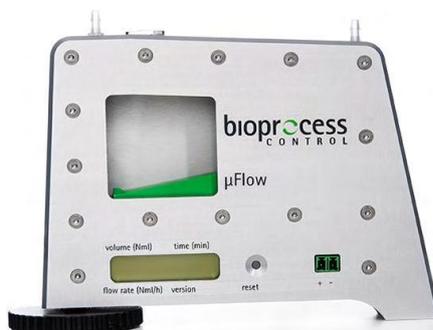


Figura 43: Medidor de fluxo de gases, operado para obter os valores de volume e vazão do biogás em função do tempo [190].

O lavador de gases possui a função de retirar sulfeto de hidrogênio (H_2S) e o dióxido de carbono (CO_2) da composição química do biogás, como comentado no Capítulo III, o qual é considerado como uma das técnicas de purificação de gás biológico [3].

Entretanto, a proveta volumétrica foi inserida inicialmente no sistema, para compreender a possível emissão de sulfeto de hidrogênio, ocasionada durante e caso ocorresse, a etapa da sulfetogênese. Como consequência, era proposto a introdução de acetado de chumbo, que auxiliaria nesta análise. Quanto mais claro fosse sua coloração, mais reduzida seria a concentração de sulfeto de hidrogênio [3].

No entanto, devido ao contratempo em se obter o sulfato de chumbo, tal análise foi proposta como perspectiva futura e a proveta volumétrica apenas favoreceu na observação do volume de biogás emitido. Com todos os materiais conectados em seus respectivos sítios o sistema então foi posto operacional, disposto conforme denota na imagem a seguir (Figura 44) [190]:



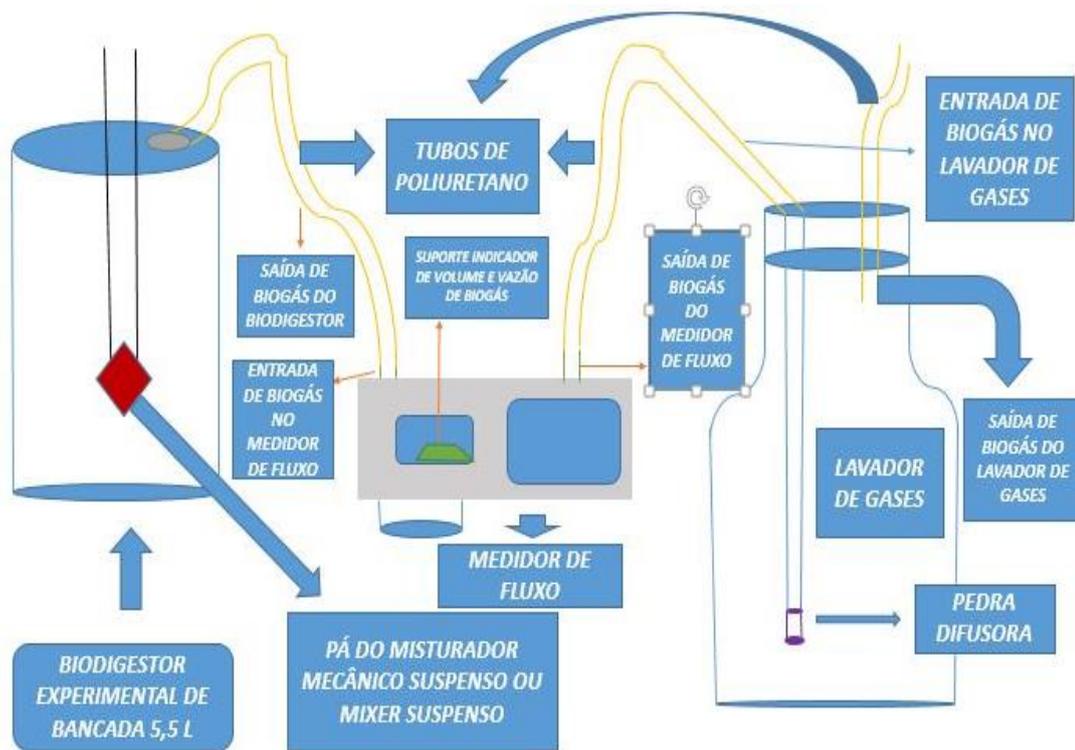


Figura 44: Sistema elaborado para fins didáticos (imagem e desenho esquemático), de forma a reproduzir a biodigestão gerada em um biodigestor de batelada (bate), com respectiva análise de seus produtos, quanto ao volume, temperatura externa e vazão. [190].

5.1.1. Metodologia de produção e análise do Biogás

Em função da concentração de animais na suinicultura por área de produção e do contingente de dejetos diários, que esta atividade é apontada como significativo potencial poluidor e de degradação ambiental, tornando-a atrativa com vistas ao desenvolvimento de projetos de biodigestão [252]. Baseado neste contexto, que se optou por aplicar tais resíduos para a promoção desta metodologia [190].

Como etapa inicial de preparação para obtenção de biogás, o recipiente de 5,5 L foi preenchido, em uma razão de 1:2 (1kg/2L), com 1,5 kg de resíduo de suíno, para 3,0 L de água somada ao elutriado de alimentos processados (900 ml de inóculo). Realizado a mistura, um espaço de 3,5 L fora ocupado, deixando 2 L de headspace [190].

De forma a controlar o pH (6,5 - 8), acelerar a reação e elevar o número de microrganismos na amostra de resíduos presente na câmara de fermentação do biodigestor, um elutriado de alimentos processados foi elaborado, de maneira a atuar como inóculo da reação (900 ml), triturando pedaços de batata, feijão e carne de soja [190].

De acordo com a literatura, a carne de soja e o feijão, para além de atuarem em paralelo a uma maior produção de biogás, funcionam como um catalizador da reação. Estes atuam de maneira distinta da batata, a qual auxilia meramente na manutenção do pH da amostra de resíduos [255] [256].

Caso as condicionantes que predefinem uma apropriada produção de biogás estiverem fora dos padrões aceitáveis, aditivos poderão ser incorporados a amostra, de forma a estabiliza-la. Não obstante e baseado nos parâmetros que puderam ser analisados, não se houve necessidade de os adicionar no decorrer da biodigestão [88] [89].

Com vistas a razão de água para uma adequada biodigestão anaeróbica, esta poderá ser observada pela análise de Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos e sólidos voláteis, principalmente quando se refere a inóculo e a solução mãe de matéria orgânica (MO) [3].

Dando continuidade à experimentação, foi realizada uma metodologia de calcinação da MO, com assistência da empresa Lavoura da Fisga, onde uma placa de porcelana a 200 mL, fora banhada em água destilada, secada e transferida ao interior de um forno de mufla [3].

O forno de Mufla foi submetido a temperaturas entre 500 °C a 600 °C, durante uma hora, sendo, posteriormente, a amostra transferida a um dessecador (Figura 45), esfriada a temperatura ambiente e pesada em uma balança (P1) [3].

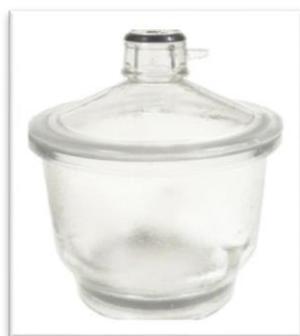


Figura 45: Dessecador utilizado no processo de calcinação da matéria orgânica. [3]

Por conseguinte, fez-se a homogeneização da amostra, com uma baqueta em um béquer de 250 ml. Uma alíquota desta amostra foi transferida a uma placa de porcelana pós-calcinação e posta em banho-maria antes de sua transferência a estufa, a uma temperatura entre 105 °C e 107 °C [3].

Em seguimento, a placa de porcelana é novamente transferida ao dessecador, esfriada a temperatura ambiente e então realizado uma segunda pesagem (P2), obtendo-se, portanto, o cálculo dos sólidos totais (Equação 8), fixos (Equação 9) e voláteis (equação 10) [3].

$$ST = \frac{(P2 - P1) \times 1000}{VA}$$

Equação 11: Equação representativa do total de sólidos existentes na amostra, como resíduo presente após a evaporação em banho-maria de uma porção de amostra e sua posterior secagem. ST = Sólidos Totais (mg / L); P1 = Massa da Placa de Porcelana (mg); P2 = Massa de amostra inicial (mg); VA = Volume da Amostra (mL) [3]

$$SF = \frac{P2}{VA} \times 1000$$

Equação 12: Cálculo dos sólidos fixos (suspensos ou dissolvidos) presentes na amostra, como sendo a porção dos sólidos que permaneceram após a calcinação. SF = Sólidos Fixos (mg/L); P2= Massa da amostra inicial (mg); VA=Volume da Amostra (mL) [3].

$$SV = ST - SF$$

Equação 13: Cálculo dos sólidos voláteis, representando a fração de sólidos totais que se perdem, após a calcinação em forno de mufla. SV = Sólidos Voláteis (mg / L); ST = Sólidos Totais (mg / L); SF = Sólidos Fixos (mg / L) [3].

Os resultados de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV), são representados pela razão de água necessária para uma adequada digestão anaeróbica, como exibido na equação 11 a seguir [3]:

$$R = MO/I$$

Equação 14: Razão de matéria orgânica e inoculo presente em um biodigestor. R = Razão da Matéria Orgânica e Inoculo; MO = Matéria Orgânica; I = inoculo [3]

Valores de razão de matéria orgânica e inóculo (R), possibilitam conhecer o volume ocupado pelos resíduos na cuba de fermentação, entendendo o valor exato de água que deverá ser introduzida no interior do biodigestor, isto é, a razão de água necessária a uma biodigestão, onde a “MO” é relacionada a quantidade de sólidos totais existentes na amostra (capítulo VI). [3].

A coleta do resíduo de suíno foi realizada com o menor revolvimento possível, uma vez que o oxigênio pode atuar como contaminante e comprometer a produção, sendo vedado adequadamente no interior de um receptáculo cilíndrico e lá mantido até sua inserção no biodigestor experimental de bancada [190].

No interior do biodigestor experimental, foi necessário produzir um ambiente anox. Logo, em uma primeira etapa, a água que nele seria introduzida fora borbulhada com nitrogênio antes de sua adição ao recipiente, de forma a expulsar as moléculas de oxigênio e possivelmente cloro por um período de 3 min, acrescentando lentamente o inóculo durante este processo, de forma a não contaminar a amostra [190].

Posteriormente aos 3 minutos de borbulhamento por nitrogênio gasoso e estando o inóculo já acrescentado ao corpo hídrico, esta amostra é posta no recipiente. Antes de o vedar, novamente uma atmosfera de nitrogênio fora realizada por um igual período de 3 minutos, expulsando o oxigênio que acima se manteve (headspace), conservando assim o ambiente anóxico [190].

Em seguida, o reservatório que funcionará como um biodigestor de bancada, foi vedado hermeticamente e assim condicionado por um período de 24 h, de forma a ocorrer estabilização da amostra e obter valores adequados de seus

respectivos parâmetros, como por exemplo, temperatura e pressão, sem ter sido acionado o Agitador Mecânico Suspenso e o respectivo aquecedor [190].

Após 24 h, o Agitador Mecânico Suspenso é iniciado, exibindo inicialmente 52 rotações por minuto e assim devendo ser mantido por todo o processo de biodigestão (60 dias), de forma a manter uma amostra homogênea. Da mesma maneira, após esse período, o aquecedor é acionado, sendo medido a temperatura no interior da Hotte, por intermédio de um termômetro digital [190].

Assim que a produção se iniciou e ocorreu transporte do Biogás pelo medidor de fluxo, o mesmo é coletado por meio de uma seringa de gases na fonte (Figura 46) e injetado em um Vial (Figura 47), sendo encaminhado posteriormente a um cromatógrafo para análise [190].



Figura 46: Seringa Valvulada de Gases utilizada para coleta do biogás [190].

Apenas 3 amostragens foram realizadas, com a temperatura da coluna variando entre 80 °C e 120 °C, em um tempo de injeção equivalente a 0,5 minutos, obtendo-se, em função dos intervalos de tempo, as respectivas abundancias relativas, com suas intrínsecas áreas de picos proporcionais a quantidade de substancia da amostra analisada [190].



Figura 47: Vial empregado no armazenamento de biogás [190].

Esta última etapa de pesquisa laboratorial, utiliza a cromatografia gasosa para análise dos elementos presentes na composição química do biogás, como sendo um método físico-químico na separação de componentes de uma mistura [257] [258].

Na cromatografia gasosa as moléculas de uma amostra são convertidas em íons na fase gasosa e separados em um espectrômetro, denotando sua

abundância relativa em função do tempo (min), de acordo com sua razão de massa e carga (m/z), inerentes a cada íon presente nos picos dos cromatogramas [258] [259].

Resumidamente, cromatografia envolve duas fases, uma fase móvel, quando o gás se locomove através da atuação de gás de arraste (H_2 , N_2 e He) pelas respectivas colunas cromatográficas; e uma fase estacionária, onde a amostra injetada encontra-se imóvel [258] [259].

Quanto a amostra injetada no cromatógrafo, esta pode ser de composição líquida volátil ou gasosa (biogás), inserida através de um septo, por intermédio de uma seringa de gases, onde então é evaporada [257] [259].

Mediante a um detector, os íons separados podem ser ponderados através de cromatogramas descritos em um computador, os quais estabelecem bandas cromatográficas que possibilitam o valor de área pela qual houve deslocamento do gás analisado, onde seus picos, representam valores máximos dos elementos químicos presentes na amostra [258] [259].

Há distintas opções para obtenção da área de banda cromatográfica. Todavia, o cálculo empregado refere-a a integral por baixo da curva, representada pela banda cromatográfica do metano produzido [257] [258]. Quanto suas concentrações, estas foram alcançadas via cálculo da fração molar de um gás dissolvido num corpo hídrico, de forma a plotar a curva analítica ou curva de calibração [190] [259].

Pós plotagem da curva de calibração e através de sua equação da reta, é possível então adquirir valores quantitativos do gás analisado (metano) [257][258], em função do volume de suas respectivas amostragens, para além da obtenção da concentração do biogás no interior do reator [190] [259].

CAPITULO VI

6. ANÁLISE DE RESULTADOS DA BIODIGESTÃO

Em razão ao tempo escasso, a análise do biogás foi relativa à produção no espaço de duas semanas, com introdução de um suporte fixo e braçadeira após 7 dias. Essas melhorias foram ocasionadas por consequência dos constantes escapes de gás, onde fora observado que existia um espaço entre o suporte fixo e a pá do rotor cambiada [190].

Em virtude das análises e diante do entendimento da premência de uma braçadeira, o experimento fora cessado por um período de 4 dias para que houvesse sua inclusão, com coleta de parte do gás uma vez extravasado. Por efeito da brecha no biodigestor experimental, houve penetração de um contingente de oxigênio em seu interior, contaminando a amostra e atrasando processo de biodigestão [190].

Entretanto, a despeito dessa incorporação de oxigênio ao biodigestor, segundo o cromatograma gerado e os picos testemunhados, com vistas aos elementos químicos, foi possível concluir que a biodigestão se encontrava ainda no processo da acidogênese [174], uma vez que exibia em sua constituição um considerável contingente de área percorrida (u.a) por ácido acético, como denotado na figura a seguir (Figura 48) [3][190]:

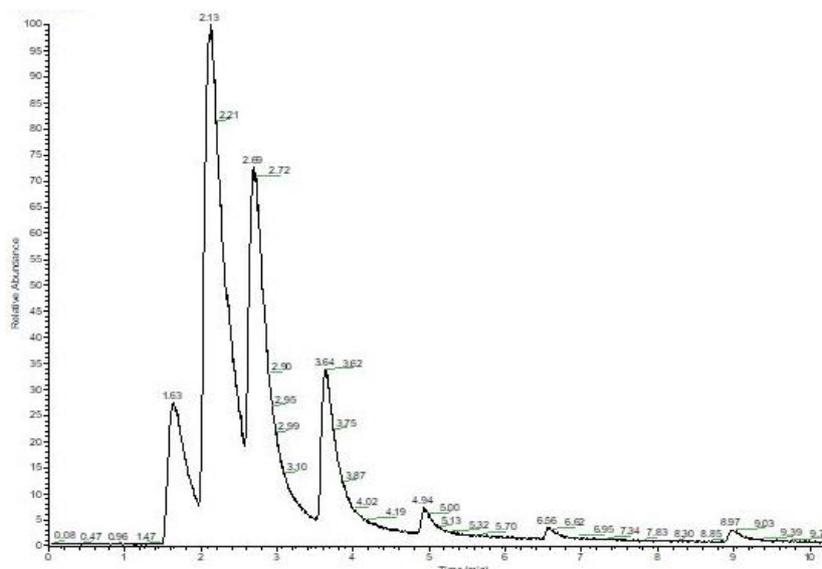


Figura 48: Cromatograma intrínseco representando o comportamento do ácido acético em função do tempo em um período de 7 dias [190].

O ácido acético é um elemento característico da acidogênese (2º Etapa da biodigestão), como comentado no capítulo III, produzido pelas bactérias Acidogênicas. Estas, também são capazes de gerar outros gases, como o ácido propanoico e butanoico [3] [174].

Um fator significativo de ser ponderado, consiste em relação a calibração do equipamento (cromatógrafo) [258] [259], encontrando-se regulado para análise do metano e, todavia, conseguindo prever os comportamentos dos ácidos formados, devido ao contingente de produção proporcionado pelas bactérias acidogênicas [174] [190].

Apesar de não se observar outros ácidos que também poderiam ser gerados nesta fase, como o ácido propanoico e ácido butanoico, por efeitos de calibração do equipamento (cromatógrafo), sua presença possibilitou entender a etapa que se encontrava a biodigestão em um período de 7 dias [174] [190].

Igualmente a presença de demais gases, houve a formação de dióxido de carbono (CO_2), Nitrogênio (N_2) e Hidrogênio (H_2) [190], denotando para além do trabalho em conjunto das demais bactérias, a passagem para uma próxima etapa de biodigestão (Acetogênese), uma vez que este hidrogênio e o dióxido de carbono são apenas produzidos pelas bactérias Acetogênicas (Figura 49) [3] [174].

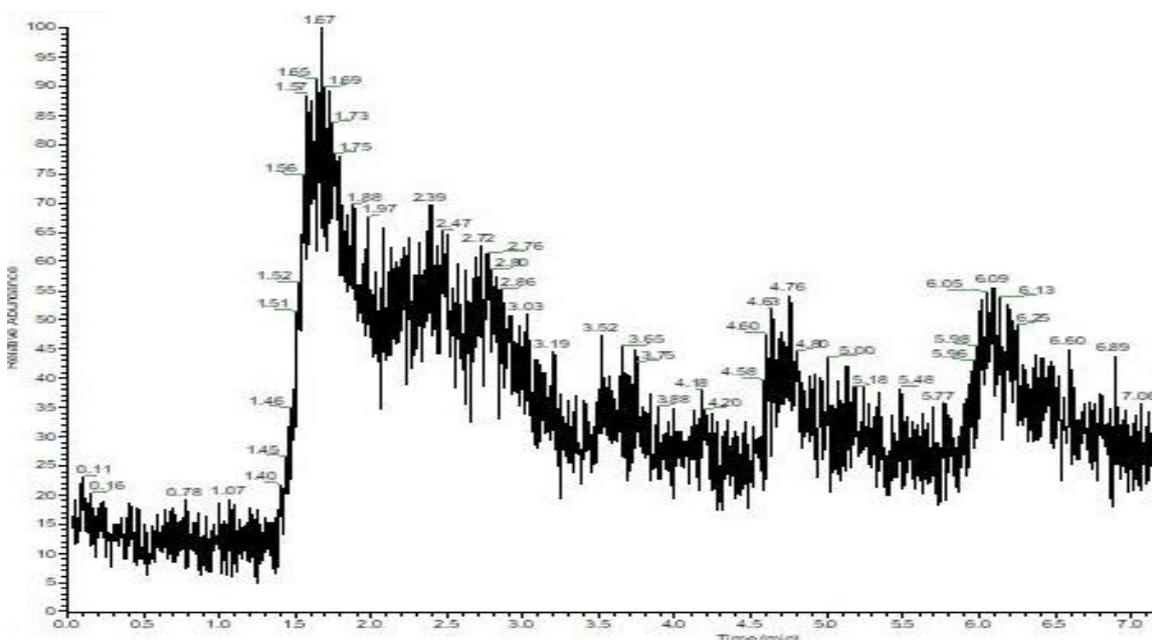


Figura 49: Cromatograma inicial obtido no decorrer de 7 dias, denotando a existência de um misto de gases na amostra analisada, com presença de dióxido de carbono, hidrogênio, ácido acético e metano. Os intervalos representados pelos pontos 0,78 min a 1,07 min referem-se ao metano; 6,05 min a 6,13 min correlacionam-se ao pico de ácido acético; os intervalos referentes a 4,63 min e 4,76 min exibem os picos de dióxido de carbono; já o intervalo de 2,39 refere-se ao hidrogênio; por fim o intervalo de 1,67 min destina-se ao Nitrogênio (N_2) [190].

Consoante a etapa da Acidogênese, esta encontrava-se com uma quantidade efêmera de metano (6%) [190], o que é plausível, visto que tanto as bactérias Arqueas Metanogênicas Hidrogenotróficas necessitam do Hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2) para formação do metano, quanto as bactérias Arqueas Metanogênicas Acetoclásticas precisam de ácido acético (CH_3COOH) e gás carbônico para igualmente produzir este metano (CH_4) [3] [174].

Não obstante e apesar de o cromatograma também manifestar a presença de oxigênio na amostra, ocasionado por brechas antes existentes no biodigestor experimental de bancada, a contaminando, o processo de biodigestão continuou a se verificar, com produção, segundo ao observado nos cromatogramas das figuras 48 e 49, de compostos químicos característicos da Acidogênese e Acetogênese [190].

Para além disso, essas quantidades elevadas de dióxido de carbono (CO_2) ainda na fase de Acidogênese para Acetogênese, explicam o motivo de análises cromatográficas iniciais, de acordo com as literaturas, o exibirem em quantidades elevadas (> 40%), para além de outros gases, acima do contingente de metano [3] [174].

Uma última observação a esta análise inicial, foi a considerável quantidade de nitrogênio (Azoto) existente na amostra, descrito pelo intervalo de 1,67 min, o que é compreensível, uma vez que se foi usado nitrogênio para expulsar as moléculas de oxigênio do Headspace do biodigestor e aquelas constituintes da água utilizada para o início da biodigestão (juntamente com cloro, caso houvesse) [190].

Notável também observar o conceito de biogás, sendo este um gás emitido da biodigestão de resíduos de origem orgânica. Todavia, um erro clássico é ponderar a existência de biogás apenas no surgimento de quantidades elevadas de metano (> 80%) [3] [174].

Tal pensamento de associar biogás apenas a emissão de metano é errôneo e segue em contradição ao seu conceito, posto que biogás consiste em um conjunto de gases. Ademais, torna-se verídico afirmar que a quantidade de metano apenas pode definir sua qualidade, para além de valores superiores a 70%, só poderem ser obtidos com procedimentos de purificação [3] [174].

Com efeito, cada etapa denota emissões intrínsecas de elementos químicos, tendo o metano produzido em quantidades superiores a 60% no decorrer de 4 semanas [3] [174].

Tanto as bactérias Fermentativas, Acidogênicas e Acetogênicas, quanto as Arqueas Metanogênicas cooperam entre si, existindo na amostra, independente da etapa de biodigestão apresentada. Seus produtos são gerados em função do uso daqueles obtidos em etapas anteriores. Por essa razão que é observável a produção de metano no decorrer das semanas, atingindo seu máximo ao final de um mês [3] [174].

No tocante as bactérias Sulforredutoras, estas funcionam como um caso aparte, possivelmente surgindo apenas quando se há uso de águas residuárias e determinados resíduos, como resíduos de suínos, operando na passagem da etapa da Acetogênese para Metanogênese e competindo pelos substratos da amostra com as Arqueas Metanogênicas [3] [174].

A comprovação ou não referente a evidencia de sulfeto de hidrogênio (H_2S), não foi possível, em razão deste projeto ter se limitado a validação da funcionalidade do biodigestor e quanto a constatação da produção de metano decorrente do processo de biodigestão, havendo seu testemunho, com considerável elevação, no decorrer de 7 dias após a inserção das melhorias [190].

Acredita-se que a produção de biogás, uma vez no seu ápice, continuará no correr de 60 dias, uma vez que foi desenvolvido um equipamento para operar como um biodigestor de batelada (bate), reduzindo sua vazão e volume após este período, sendo possível então, a abertura do equipamento com segurança e a posterior retirada do biofertilizante [3] [174].

Passados os 4 dias de introdução das melhorias ao biodigestor, iniciou-se novamente o movimento do agitado mecânico suspenso, com 53 rotações por minuto, variando ao longo dos dias, conforme a diluição dos resíduos da amostra, mas sempre mantendo rotações discretas e a abaixo de 60 rotações por minuto [190].

Novamente iniciado o experimento, no quinto dia a partir do encerramento das atividades, este foi mantido, como vias de desenvolvimento deste projeto, até a comprovação da produção de metano [190], visto que segundo a primeira

análise, o processo já se transcorria para o início de uma segunda etapa da biodigestão (Acetogênese) [3] [190].

Ademais, a elevação do nível de metano provaria e justificaria a continuidade do trabalho em demais projetos, sendo este período satisfatório para comprovação de que o equipamento confeccionado estivesse em adequada operação [190].

Todavia, no decorrer dos experimentos laboratoriais, a manutenção de temperatura externa e contenção da pressão, também foram duas condições observadas de considerável importância para proporcionar uma adequada biodigestão, dado que ao solucionar este desafio, foi-se possível provar que o equipamento confeccionado se encontrava em adequado funcionamento, para além de uma plausível produção de biogás no decorrer de duas semanas [190].

Nos experimentos laboratoriais, houve a observação de parâmetros como temperatura metabólica, temperatura externa e a respectiva contenção da pressão, considerados de inerente importância para a biodigestão. Com vistas as temperaturas, o biodigestor no 8º dia de produção, denotou uma temperatura externa (34,6 °C) e pressão interna controlada, com temperatura metabólica ao redor de 35,3°C (Figura 50) [190].

A temperatura metabólica foi analisada anteriormente ao encerramento da biodigestão, através de um termômetro digital, pelo orifício de entrada da pá do Mixer, denotando um ambiente adequado e propício para a proliferação da cultura de bactérias e desenvolvimento de processos de biodigestão [190].



Figura 50: Termômetro digital utilizado para medição da temperatura metabólica proporcionada pelas bactérias da amostra de resíduos presente no biodigestor experimental de bancada [190].

Quanto a pressão, como comentado, esta não pode ser analisada, devido à falta de nanômetro, mas segundo algumas literaturas, acredita-se que, em razão de se observar condições de produção aparentemente ideais, este mesmo parâmetro tende a ser semelhante a pressão atmosférica [125] [190].

As informações obtidas no decorrer do experimento, no período de 15 dias, foram tabeladas (Tabela 13), de forma a tornar intuitivo os trabalhos laboratoriais realizados no decorrer do período de 15 dias, antes e após a inserção das melhorias no biodigestor experimental de bancada [190].

Após 8 dias de produção e durante o encerramento da metodologia de biodigestão pelo período de 4 dias, uma análise do pH fora realizada, obtendo um valor de 6,5. Valor este característico da etapa de acidogênese ($6,5 \leq$ Acidogênese $\leq 7,5$; $5,5 \leq$ Acetogênese $\leq 6,5$; $7,0 \leq$ Metanogênese $\leq 8,0$) [190].

Tabela 13: Tabela inerente aos dados anotados no decorrer do processo de biodigestão ao longo de 15 dias, antes e após a inserção das melhorias no biodigestor experimental de bancada [190].

Volume de biogás (Mínimo)		113	Nml
Volume de biogás (Máximo)		129	Nml
Vazão de biogás (Máxima)		69	Nml/h
Vazão de biogás (Mínima)		30,9	Nml/h
Temperatura Metabólica		35,3	°C
Temperatura externa ao biodigestor		34,6	°C
pH (medido no dia 25/07/2020)		6,5	Adimensional
DIA	DATA	TEMPO	ROTAÇÕES/MINUTO
Segunda	13/07	09:45	52
Terça	14/07	09:00	56
Quarta	15/07	10:30	53
Quinta	16/07	10:00	55
Sexta	17/07	08:40	57
Sábado	18/07	FINAL DE SEMANA	57
Domingo	19/07		51
Segunda	20/07	11:00	50
Introdução de Melhorias no biodigestor	Interrupção da produção		0
			0
			0
Sexta	24/07	09:00	53
Sábado	25/07	FINAL DE SEMANA	54
Domingo	26/07		50
Segunda	27/07	08:45	55
Terça	28/07	10:00	55
Quarta	29/07	08:45	57
Quinta	30/07	09:15	57

Outra análise realizada, fora referente ao entendimento da parcela de água essencial a biodigestão. Esta deve seguir em conformidade com o cálculo sólidos

totais, os quais de acordo com a equação 13 (Capítulo V), informa que a razão hídrica do processo, deve seguir em conformidade com seu valor e a quantidade de inóculo que se deseja inserir [3] [190].

Conseqüentemente, analisando os sólidos totais (ST), obteve-se uma porção equivalente a 12,75 g, referente a 30% da amostra total (42,5 g). Sabendo-se que 1,5 Kg de resíduos foram inseridos no biodigestor, tendo apenas 0,45 Kg referentes a ST (30%), e que 0,9 Kg são respeitantes ao inóculo, logo, inserindo esses valores na equação 13 (0,45/0,9), adquirimos a razão de 1:2 [3] [190].

Entretanto, é relevante ponderar que a razão de água inserida no biodigestor, deve estar em conformidade com a quantidade total de resíduo introduzido no equipamento. Ademais, a quantidade intrínseca da parcela hídrica, deve ser pertinente com a porção de elutriado de alimentos processados, posto que este é preparado com uma mistura de água e resíduos triturados [3] [174].

Em outras palavras, o cálculo dos sólidos totais apenas preddefine a razão hídrica necessária a uma biodigestão, tendo a porção de medida hídrica correlacionada ao valor total de resíduo inserido no biodigestor, que para a biodigestão realizada neste projeto, correspondeu a 1,5 Kg [3] [174].

Contudo, mencionar sólidos totais, sem se referir aos voláteis e fixos torna-se algo inviável, uma vez que no decorrer do processo de obtenção de um, os outros dois parâmetros também acabam adquiridos. Nesse contexto, as quantidades de sólidos voláteis relacionam-se a 10,63 g e sólidos fixos a 2,12 g [3] [174].

Em anexo (Anexo 8), é possível comparar esta metodologia de biodigestão e os resultados obtidos, com uma segunda metodologia realizada no Brasil, através da descrição dos critérios e processos realizados para o alcance de relevantes proporções de biogás e biofertilizante [174] [190].

Todavia, quanto a análise de biogás produzida, antes da segunda amostragem, após 7 dias da introdução das melhorias ao biodigestor, através da passagem pelo medidor de fluxo, houve um volume mínimo de 113 Nml a uma vazão máxima de 69 Nml/h. Esta, quando reduzida a 30,9 Nml/h, notou-se um volume máximo de 129 Nml e assim se mantendo até o último registro (Figura 51) [190].

É perceptível que o medidor de fluxo exteriorizou uma unidade distinta daquelas observadas no Sistema Internacional de Unidades (SI). Isso porque, símbolo “N” apenas relaciona-se a uma medida específica e padronizada para volumes, com denominação de “normal”, isto é, que esta unidade de volume (Nml) e de vazão (Nml/h) encontram-se sobre condições normais de temperatura e pressão (101,325 kPa) [190].



Figura 51: Imagens dos volumes em Nml e Vazões em Nml/h de biogás produzido durante sua passagem pelo medidor de fluxo [190].

Em uma última análise, foram inseridas no cromatógrafo 3 (três) pequenas amostras de biogás (2 ml, 5ml e 10 ml). Em uma observação dos resultados, uma discreta, porém significativa (~23%) produção de metano (CH₄) fora observada. Ao injetar as amostras, o cromatograma apresentado exibiu o comportamento externado pela figura a seguir (Figura 52) [190]:

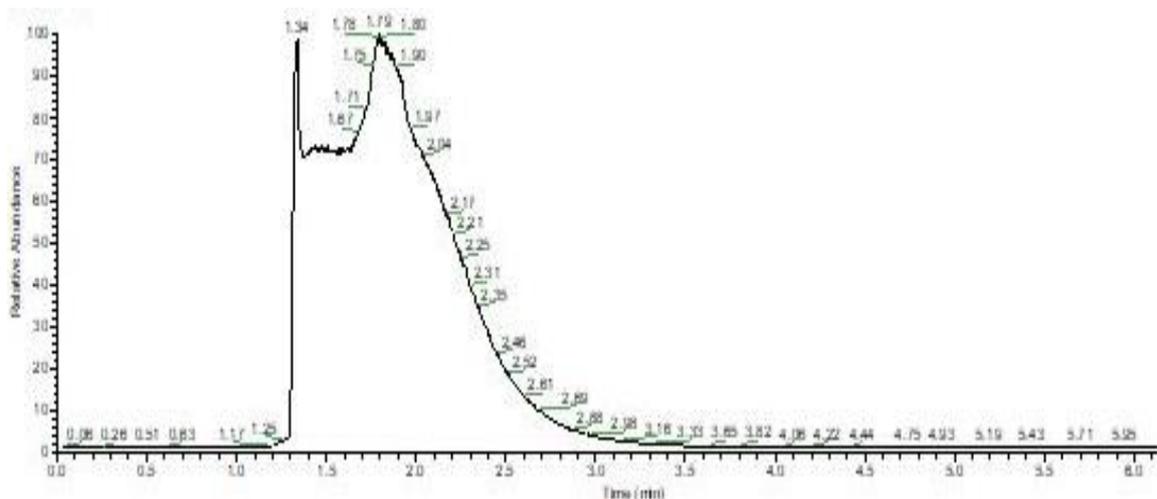


Figura 52: Cromatograma intrínseco representando o comportamento do metano em função do tempo (min), em um período de 7 dias seguidamente a inserção das melhorias ao biodigestor, o conduzindo a um adequado funcionamento [190]

Afim de obter a seção percorrida pelo metano, tornou-se necessário calcular a área por baixo da curva exibida pela figura 45, a qual assumia a

seguinte função da integral representada pela equação a seguir (Equação 15) [190]:

$$A = \int -225,93 X^2 dx + \int 720,64 X dx - \int 476,89$$

Equação 15: Integral representativa da área por baixo da curva em função do tempo [190].

Determinada a integral em 3 pontos em função do tempo (1,25 – 1,34/ 1,67 -1,80/ 1,80 – 1,97) e obtendo suas áreas, por onde exibiam concentrações da amostra diluída em partículas por milhão (valor fornecido), foi possível, por intermédio da equação da fração molar de um gás dissolvido em um corpo hídrico (Equação 16), realizar o cálculo da concentração (Equação 17) [174] [190].

$$\ln(x) = -396,414 + \frac{15557,563}{T} + 65,255 \times \ln(T) - 0,062 \times T$$

Equação 16: Equação representativa da Fração molar de um corpo hídrico. X = Fração molar; T = Temperatura externa na escala Kelvin [174] [190].

Valores demonstrados na equação 16, referem-se a constantes do recurso hídrico utilizado para realização da biodigestão, que para o caso deste projeto, foi referente água comum, retirada diretamente da torneira da pia de laboratório [174] [190].

Contudo, a temperatura relaciona-se a escala Kelvin e, portanto, por meio de uma conversão ($K = C + 273$) e sabendo que a temperatura externa ambiente se encontrava a valores de 34,6 °C, a mesma, com vistas a esta escala Kelvin, exprimiu um valor de aproximadamente 308 K [174] [190].

$$C = x \times Mx \times C_{PPM} \times \frac{P_{amb}}{P_{méd}}$$

Equação 17: Equação da concentração de um gás. C = Concentração do Gás; X = Fração Molar; Mx = Massa molar do volume total de água utilizada para o processo de biodigestão; C_{PPM} = Concentração da amostra diluída; P_{amb} = Pressão Ambiente; P_{méd} = Pressão Média [174] [190].

Para o cálculo da concentração, é obtido os valores de massa molar do volume total do corpo hídrico presente no biodigestor. Sabendo que 1 mol de água é relativo a 18g, através de uma regra de três e entendendo que o volume total introduzido no biodigestor se correlaciona a 3 L, foi possível encontrar um dado de aproximadamente 166,67 g [174] [190].

A unidade gramas (g) é referente a massa e sua conversão para litros (L), depende da substância. Contudo, uma amostra de água (H₂O) está diretamente relacionada a uma quantidade de massa equivalente a 1000 gramas [174] [190].

Portanto, 3,0 L de água se correlacionam a uma massa de 3000 gramas, podendo com essa informação, em conjunto com os valores de partículas por milhão ($Y_1 = 0,214$ PPM; $Y_2 = 0,228$ PPM; $Y_3 = 0,237$ PPM), pressão atmosférica atuante no distrito do Porto (101,5 kPa) e pressão média (101,3 kPa), obter as informações inerentes a concentração [174] [190].

O conhecimento das áreas percorridas pelo biogás e as respectivas concentrações a elas respeitantes, são consideradas valores padrões ou Standard (STD). Assim sendo, tais dados obtidos dos cálculos efetuados, foram dispostas na tabela a seguir (Tabela 14) [174] [190].

Tabela 14: Apresentação dos dados padrão ou Standard (STD) da amostra de metano e os respectivos valores das amostragens realizadas no cromatógrafo [174] [190].

	ALTURA DO PICO (g/L)	ÁREA (U.A.)
STD	0,269	92,79
	0,285	136,07
	0,297	175,44
Amostra	2 mL	
	5 mL	
	10 mL	

Consoante a obtenção das informações de área e concentração da amostra de metano, é então possível plotar sua curva de calibração [3] [174], deduzindo a equação da reta a ela relacionada, assim como seu R² (Gráfico 6) [190].

Como critérios didáticos, o R² consiste em uma medida de ajuste de um modelo estatístico linear, representado uma regressão simples ou múltipla de valores ponderados em uma variável aleatória, expressando as variâncias destes dados. Quanto mais próximo o R² se encontrar de 1 (tende a 1), mais explicativo encontra-se o modelo linear e melhor é o ajustamento da amostra [260].

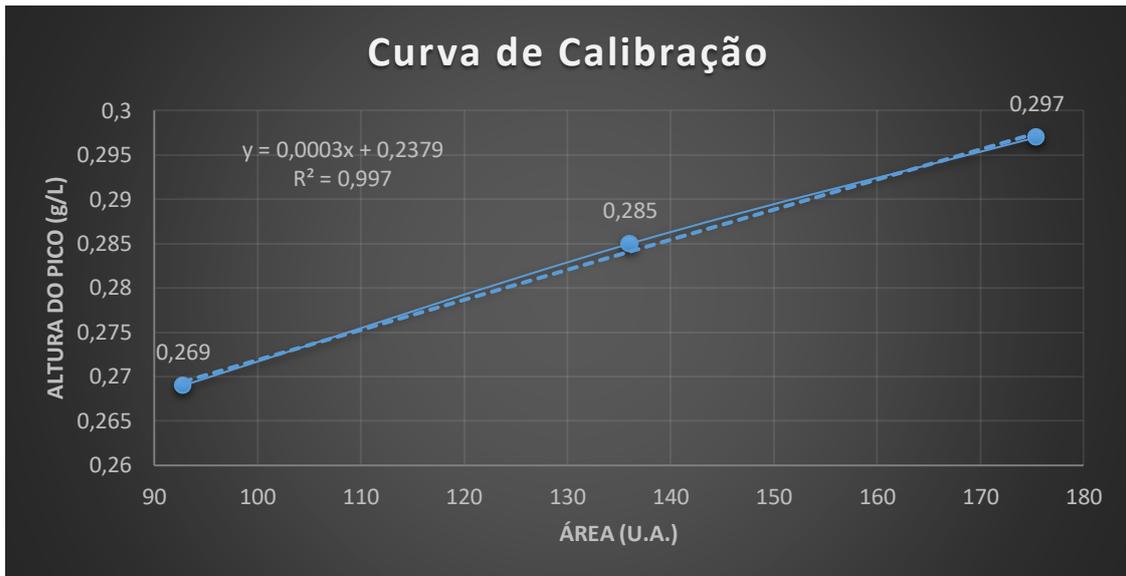


Gráfico 6: Curva de Calibração ou Curva padrão do comportamento do metano, como uma função entre a concentração e a área por ele percorrida [190].

Portanto, a curva de calibração exibida pelo gráfico 6, apresenta variando o volume e mantendo a concentração, possibilitando a leitura de seu desvio, denotando um alinhamento quase perfeito, próximo a 1 (0,997), exposto pelo coeficiente de determinação (R^2), e exibindo uma regulação adequada das informações expressas pela amostra^[190] ^[260].

A equação da reta transmitida pela curva, permite achar a porcentagem de metano produzido pelo processo de biodigestão, onde o valor de “x” representa a média aritmética das concentrações de metano em cada intervalo de tempo considerado ao longo da área percorrida (Equação 18) ^[3] ^[174].

$$y = \left(0,0003 \times \left[\frac{(0,269 + 0,285 + 0,287)}{3} \right] + 0,2379 \right) \times 100$$

$$y = 23,80 \%$$

Equação 18: Resolução da equação representada pela curva de calibração, em função da média aritmética das concentrações apresentadas, denotando, em unidades de porcentagem, o contingente de metano produzido pelo processo de biodigestão [3] [174].

A elevação de 23,80 % de biogás produzido ao final de 7 dias, ainda no decorrer da etapa de transição da acidogênese para Acetogênese, é de considerável relevância, já que processos de biodigestão, sem a perspectiva da purificação, atingem de 60% a 70% de metano na composição química do biogás ^[3] ^[190].

O resultado de uma elevação de 17,8% em comparação com a primeira análise, demonstra que as condições de produção se encontram adequadas, tanto com vistas ao funcionamento do equipamento, quanto na análise dos parâmetros que predefinem uma boa biodigestão, em paralelo à conclusão de possivelmente estar havendo uma boa proliferação da colônia de bactérias na amostra [3] [190].

Considerando que em 7 dias, a biodigestão permitiu a elevação de 17,8% de metano, realizando uma estimativa, através de uma regra de três simples, seria como se sua emissão alcançasse aproximadamente 2,5% por dia, podendo atingir um patamar de 70%, em caso de condições ideais de produção, no decorrer de 28 dias, dois dias mais rápido ao predisposto nas literaturas (Gráfico 7) [3] [190].

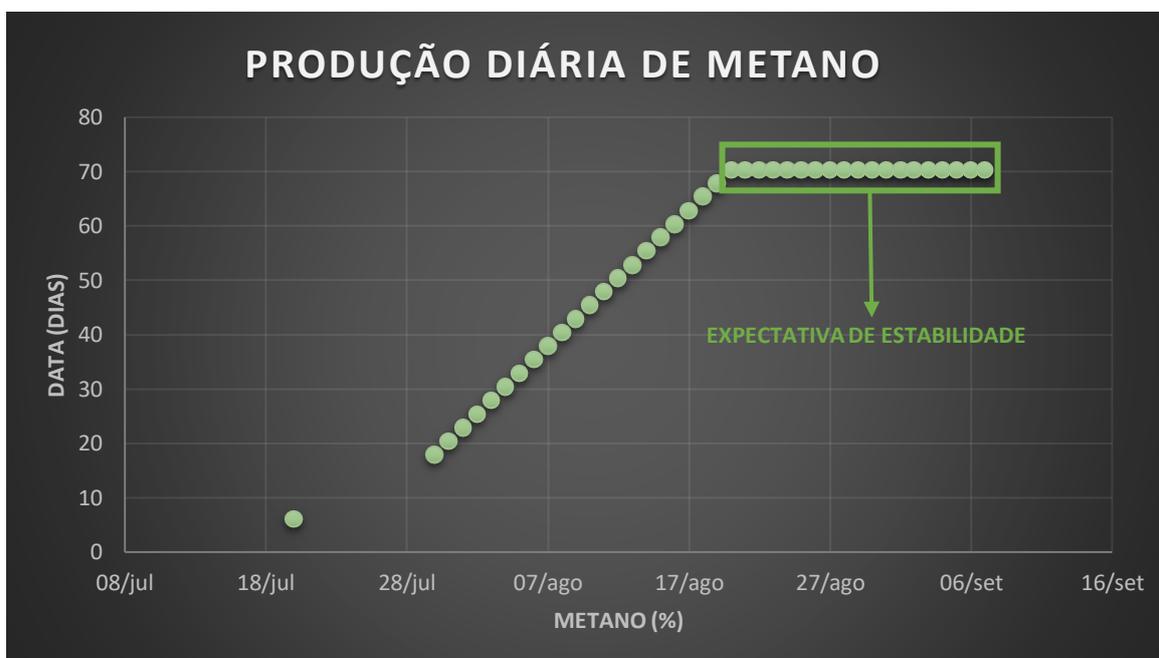


Gráfico 7: Representação gráfica da estimativa de produção diária de metano [3] [190].

Não houve a possibilidade de calcular a porcentagem de biogás produzido, uma vez que não se foi possível adquirir um frasco de diluição, para além da obtenção do fator de diluição, podendo ser considerado como perspectiva futura após 4 semanas de produção de biogás, em paralelo com possíveis processos de purificação [3] [190].

CAPITULO VII

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento da biodigestão, para tratamento e processamento adequado de resíduos, permite uma disposição final vantajosa frente ao cenário da elevação de resíduos sólidos urbanos e rurais.

A relevância em incentivar o uso de recursos renováveis, ampliar a consciência ambiental e implantar uma economia circular na sociedade, em conformidade com o princípio da Avaliação do Ciclo de Vida, permite a biodigestão possuir um importante cenário no desenvolvimento sustentável em um país, com boas perspectivas, inclusão e promoção tecnológico científico em Portugal.

Nesse contexto, a biodigestão atua de forma simples e eficiente junto a metodologias de gestão de resíduos pré-existentes, como no uso de aterros sanitários, que dentre outras vantagens, eleva seu tempo de vida útil, reduz os custos de operação e manutenção, minimiza sua carga de resíduos, assessora na melhoria de sistemas de tratamento e contribui na prevenção de possíveis impactos.

Como uma tecnologia flexível, o biodigestor pode adaptar-se a necessidade do agricultor ou empresário, sendo, conseqüentemente, um processo adequado na elevação da biomassa florestal, aprimorando a qualidade dos ecossistemas, da produção agrícola e proporcionando a circulação de riquezas, em conformidade com os moldes propostos pela Rio+20 e PERSU 2021.

O biofertilizante, como um dos produtos da biodigestão, segundo a Tabela 12, com produção equivalente a 149,1 m³/dia, possibilita o alcance de pH a níveis de neutralidade (pH = 7,5), elevando a CTC (CTC ≥ 50%), diminuindo a lixiviação de nutriente e proporcionando uma fertilidade do solo, com simplicidade na obtenção destes nutrientes por fungos e plantas.

Os nutrientes existentes no biofertilizante, associados a um contingente de material orgânico e microrganismos, oportuniza uma maior retenção de água, reduzindo o estresse hídrico e proporcionando solos a níveis de umidade

superior a 35 % e inferior a 50 %, intrinsecamente necessários ao desenvolvimento dos fungos mutualísticos.

Com vistas ao biogás, como um segundo produto da metodologia de biodigestão, concernente Tabela 12, este denota um contingente energético de 727,77 Kwh, a um volume de 70% de metano ($21,5 \text{ J/cm}^3 \leq \text{CH}_4 \leq 27,7 \text{ J/cm}^3$), correspondente a 111,96 m³, produzido sob uma carga orgânica de 111,8 Kg/dia, proporcionando um fornecimento energético para um máximo de 22 casas.

No analisar de uma perspectiva pós-produção de biogás, metodologias que permitam sua purificação, melhoram o rendimento e eficiência de sistemas energéticos e automotivos, podendo vir alcançar a biometanização ($\geq 95\%$ de metano). Portanto tais sistemas também sustentam o compromisso com desenvolvimento sustentável de uma sociedade.

Sobre esta concepção, que atualmente há diversos sistemas de purificação de biogás, denotando considerável simplicidade e eficiência, como por exemplo, o então inovador sistema de filtros em série, que permite um contingente de metano a um máximo de 98,9%.

Sobre esse contexto, no que concerne a metodologia da biodigestão, baseado nos dados e informações auferidas no decorrer dos trabalhos produzidos na empresa Lavouras da Fisga, houve uma compreensão da peculiar importância desta metodologia, tanto na promoção de uma área de produção agroflorestal sustentável, quanto para o desenvolvimento socioambiental e econômico de uma sociedade.

Todavia, consoante a segunda etapa da pesquisa, referente a confecção de um biodigestor experimental de bancada, conectado a um medidor fluxo, este, com volume equivalente a 5,5 L, hermeticamente vedado, expôs ao final do processo uma adequada funcionalidade.

Durante a operação do biodigestor experimental, foi-se possível conter a pressão interna, externando temperatura metabólica de 35,3 °C, com produção ($113 \text{ Nml} \leq \text{volume} \leq 129 \text{ Nml}$; $30,9 \text{ Nml} \leq \text{Vazão} \geq 69 \text{ Nml/h}$), ainda na etapa da Acetogênese (pH = 6,5), de aproximadamente 24 % de metano emitido, estimando seu alcance a 70% ao final de 28 dias.

Portanto, sobre condições ideais de produção, a biodigestão, seja através modelos simples e eficientes, ou com vistas a uma perspectiva empresarial, propicia soluções para déficit energético, auxilia na remediação de ambientes contaminados (solos) ou proporciona a preservação dos ecossistemas, impulsionando assim, o fomento a sustentabilidade de uma sociedade ou país.

BIBLIOGRAFIA

- [1] FERREIRA, S.; MONTEIRO, E.; BRITO, P.; VILARINHO, C. Biomass resources in Portugal: Current status and prospects. 2017. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pág. 1221-1235. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.140>. Acesso em: 28/11/2019.
- [2] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. CNI. Matriz energética: Cenários, Oportunidades e Desafios. Brasília. DF. Brasil. 2007. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2012/9/matriz-energetica-cenarios-oportunidades-e-desafios/>. Acesso em: 24/09/2017.
- [3] AMORIM, L. F. A. Resíduos Sólidos: Um novo panorama energético. Avaliação Da Qualidade E Rendimento Da Purificação De Biogás, Através Do Sistema De Filtros De Purificação. 2020. Produção e Purificação de Biogás. Universidade Federal Fluminense. UFF. Laboratório de Pós-colheita e Processamento de Produtos Agrícolas. Laboratório de Energia, Materiais e Meio Ambiente. LEMMA. Livro. Volume 1. Pág: 1-81. Niterói. RJ. Brasil. Acesso em: 23/01/2020
- [4] MANZINI, E.; VEZZOLI, C.; O desenvolvimento de produtos sustentáveis: Os requisitos ambientais dos produtos industriais. Universidade de São Paulo (USP). São Paulo. SP. Brasil. 2011. Disponível em: <https://www.edusp.com.br/livros/desenvolvimento-de-produtos-sustentaveis/?ID=738859>. Acesso em: 29/11/2019
- [5] MAGALHÃES, L. A transição para a economia circular: a colaboração entre entidades e as novas oportunidades de negócio. 2017. Desafio Societal Ação Climática: oportunidades de financiamento na temática da economia circular e cidades sustentáveis em 2018-2020. Smart Waste Portugal: Business Development Network. Fundação de Ciência e Tecnologia. FCT. Disponível em: https://www.gppq.fct.pt/h2020/docs/eventos/7464_apresentacao-smart-waste-portugal.pdf. Acesso em: 01/12/2019
- [6] FUNCIA, C. A. F. Seminário Fluminense de Produção Florestal Sustentável. 2008. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Rio de Janeiro. RJ. Brasil. Disponível em: http://www.sbs.org.br/secure/Silvicultura_Uma_Atividade_do_Bem.pdf. Acesso em: 08/08/2019.
- [7] PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. PNUMA. Economia verde: Caminhos para o desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza. 2011. Síntese para tomadores de decisão. P. 1-52. Disponível em: <http://www.fapesp.br/rio20/media/Rumo-a-uma-Economia-Verde.pdf>. Acesso em: 09/08/2019.
- [8] FLORINDO, T. J.; MEDEIROS, G. I. B.; RUVIARO, C. F.; COSTA, J. S. Avaliação do impacto do ciclo de vida: uma discussão metodológica. 2015. Universidade Federal da Grande Dourados. Mestrado em Agronegócios. ISSN 1806-7409. Pág. 211-219. Dourados. MS. Brasil. Disponível em: http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/Florindoetal_211-219.pdf. Acesso em: 30/05/2020.
- [9] GIOTTO, S. B. F. T. Avaliação de modelos de caracterização de AICV para categoria Smog Fotoquímico considerando o contexto Brasileiro. 2018. Universidade do Estado de Santa Catarina. UDESC. Centro de Ciências Agroveterinárias. CAV. Programa de Pós-graduação de Ciências Ambientais. Título de mestre em ciências ambientais. Pág: 1-128. Lages. SC. Brasil. Disponível em: <http://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/000055/0000555f.pdf>. Acesso em: 30/05/2020.
- [10] MEDEIROS, L. M.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. Contribuição para a avaliação de ciclo de vida na quantificação de impactos ambientais de sistemas construtivos. 2018. Universidade Federal do Mato Grosso. Ambiente Construtivo. Porto Alegre. V.18. N.2. Pag. 365-385. ISSN: 1678-8621. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construtivo. Cuiabá. MT. Brasil. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-86212018000200365&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 30/05/2020.
- [11] JUNQUEIRA, R. C.; UTURBEY, W. Valoração econômica de impactos ambientais da energia solar fotovoltaica: um estudo de caso. 2017. Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Programa de Pós-graduação em energia elétrica. Revista Brasileira de Energia Solar. Ano 8. V.8. N.1. Pág. 50-58. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/174/165>. Acesso em: 30/05/2020.
- [12] NEVES, J. L. G. Aplicação da ACV-Análise Ciclo de Vida, de Soluções Construtivas Simples de Alvenaria. 2016. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. FEUP. Mestre em Engenharia Civil. Especialização

- em construções. Pág. 1-101. Porto. Portugal. Disponível em: https://sigarra.up.pt/fep/en/pub_geral.show_file?pi_doc_id=68470. Acesso em: 30/05/2020.
- [13] CALLEFI, M. H. B. M.; BARBOSA, W. P.; RAMOS, D. V. O papel da logística reversa para as empresas: fundamentos e importância. 2017. Revista de Gestão Industrial. Universidade Estadual do Maringá. UEM. Maringá. Paraná. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322728652_O_papel_da_logistica_reversa_para_as_empresas_fundamentos_e_importancia. Acesso em: 28/11/2019.
- [14] CONKE, L. S.; NASCIMENTO, E. P. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. 2018. Universidade de Brasília. UnB. Departamento de Administração. Departamento de desenvolvimento sustentável. Pág. 199 – 212. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/urbe/v10n1/2175-3369-urbe-10-1-199.pdf>. Acesso em: 28/11/2019
- [15] PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. PNUMA. Economia verde: Caminhos para o desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza. 2011. Síntese para tomadores de decisão. P. 1-52. Disponível em: <http://www.fapesp.br/rio20/media/Rumo-a-uma-Economia-Verde.pdf>. Acesso em: 09/08/2019.
- [16] STUCHI, J. F. Biofertilizante: Adubo Líquido de qualidade que pode se fazer. 2015. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Amapá. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Editora Técnica. Vol. 1. Pág: 7-8. ISBN 978-85-7035-536-2. Macapá. AP. Brasil. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1046948/1/CPAFAP2015CartilhaBiofertilizantefinal.pdf>. Acesso em: 30/01/2020.
- [17] SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. SEBRAE. Sustentabilidade: Boletim de Tendências. 2016. Práticas sustentáveis para pequenos negócios. Biofertilizante. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/2016_08_BIOFERTILIZANTES.pdf.
- [18] DEHSHEIKH, A. B.; SOURESTANI, M. M.; ZOLFAGHARI M.; ENAYATIZAMIR, N. Changes in soil microbial activity, essential oil quantity, and quality of Thai basil as response to biofertilizers and humic acid. 2020. Journal of Cleaner Production. Faculty of Agriculture. University of Ahvaz. Khuzestan. Iran. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120439>. Acesso em: 02/04/2020.
- [19] LIU N.; SHAO, C.; SUN, H.; LIU, Z.; GUAN, Y.; WU L.; ZHANG, L.; PAN, X.; ZHANG, Z.; ZHANG Y.; ZHANG B. Arbuscular mycorrhizal fungi biofertilizer improves American ginseng (*Panaxquinquefolius*) growth under the continuous cropping regime. 2019. Medical Plant Cultivation Laboratory, Institute of Special Animal and Plant Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun. China. Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Institute of Ecology, College of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing, China. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114155>. Acesso em: 02/04/2020
- [20] SILVA, F. L.; LIMA, A. S.; SANTOS, J. M.; ALVES, J. M.; SOUSA, C. S.; SANTOS, J. G. R. Biofertilizantes na produção da videira Isabel. 2019. Graduandos em Licenciatura Plena em Ciências Agrárias. Universidade Estadual da Paraíba. V: 14. N: 2. P: 211-217. Disponível em: <https://www.qvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/6200>. Acesso em: 02/04/2020
- [21] CRESPO, D. G. Portugal, um país de solos diversos mais pobres! O papel das pastagens biodiversas na sua recuperação e uso sustentável. 2015. Ano Internacional dos Solos. Colóquio dos solos. Fertiprado LTDA. Vaimonte. Portugal. Oeiras. Portugal. Disponível em: http://www.inia.pt/fotos/editor2/1_papel_pastagens_biodiversas_david_crespo.pdf. Acesso em: 02/04/2020
- [22] BONITO, A. M. Análise do impacto da Medida Sistemas Forrageiros Extensivos nas características Físico - Químicas do solo do Distrito de Portalegre. 2016. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Agricultura Sustentável. Instituto Politécnico de Porto Alegre. Escola Superior Agrária de Elvas. Elvas. Portugal. Disponível em: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/17427/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Ant%C3%B3nio%20Martin%20Bonito_revista_final_19_12_2016.pdf. Acesso em: 02/04/2020.
- [23] FONSECA, L. J. Carbono e emissão de co2 em sistema silvipastoris e pastagem com aplicação de biofertilizante. 2017. Dissertação apresentada à como parte das exigências do Programa de Pós-graduação

- em Agronomia. Instituto De Ciências Agrárias. Programa De Pós-Graduação Em Agronomia. Universidade Federal De Uberlândia. UFU. Santa Monica. MG. Brasil. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/23382>. Acesso em: 02/04/2020.
- [24] TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 2017. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. EMBRAPA SOLOS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. 3ª edição revista e ampliada. Pág: 240-573. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087328/1/Pt2Cap6Complexosortivodosolo.pdf>. Acesso em: 11/04/2020.
- [25] LIMA, T. M. Diagnóstico da fertilidade do solo e do nível tecnológico de propriedades rurais no triângulo mineiro e alto Paranaíba. 2019. Universidade Federal de Uberlândia. UFU. Programa de pós-graduação em agronomia. Instituto de Ciências Agrárias. Apresentação de tese do Doutorado de Fitotecnia para obtenção do título de Doutor. Uberlândia. MG. Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/24752/3/Diagn%C3%B3sticofertilidadesolo.pdf>. Acesso em: 11/04/2020.
- [26] COSTA, A. R. Nutrição Mineral em Plantas Vasculares. 2014. Aparentamentos de Fisiologia Vegetal. Livro. Pág 1-147. Vol.1. Universidade de Évora. UE. Évora. Portugal. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/62463519.pdf>. Acesso em: 11/04/2020.
- [27] GUARÇONI, A. SATURAÇÃO POR BASES PARA O CAFEIEIRO BASEADA NO pH DO SOLO Guarçoni, A. E NO SUPRIMENTO DE Ca E Mg. 2017. Instituto Capixaba de Pesquisa. Assistência Técnica e Extensão Rural. INCAPER. V. 12. N. 3. Pág. 327 – 336. São José. ES. Brasil. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/319507445_SATURACAO_POR_BASES_PARA_O_CAFEIEIRO_BASEADA_NO_pH_DO_SOLO_E_NO_SUPRIMENTO_DE_Ca_E_Mg. Acesso em: 11/04/2020.
- [28] BARBOSA, F. N. A influência da toxicidade do alumínio presente no solo na produtividade de feijão e soja. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de química. Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis. Fundação Educacional do Município de Assis. Instituto Municipal Superior de Assis. FEMA. 54p. Vila Nova de Santana. SP. Brasil. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/argTccs/1411430171.pdf>. Acesso em: 11/04/2020.
- [29] SILVA, S. A. S.; TEIXEIRA, D. S.; SILVA, R. M.; LISBOA, S. C. L.; RODRIGUES, Y. R. S. Atributos físico-químicos do solo submetidos a supressão vegetal, em áreas de reassentamento urbano coletivo indígena. 2018. Enciclopédia da Atmosfera. Artigo. Universidade Federal do Pará. UFPA. V.15. N.28. P.152. Belém. PA. Brasil. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2018B/AGRAR/atributos%20fisico%20quimicos.pdf>. Acesso em: 11/04/2020.
- [30] FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. 2017. Instituto Federal do Estado do Pará. IFEPA. Universidade Estadual Paulista. UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Artigo. V.26. Pág. 8-25. São Paulo. SP. Brasil. Disponível em: <http://ojs.unimar.br/index.php/ciencias/article/view/511>. Acesso em: 11/04/2020.
- [31] SCHROEDER, D.; LOPES, A. S. Solos: Fatos e Conceitos. 2017. Universidade Federal de Lavras. UFLA. International Potash Institute. Berna. Suíça. 178p. Lavras. MG. Brasil. Disponível em: <http://www.ufla.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Solos-Fatos-e-Conceitos-final-final-1-1.pdf>. Acesso em: 11/04/2020.
- [32] OLIVEIRA, K. J. B.; LIMA, J. S. S.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; Neto, F. B.; CHAVES, A. P. Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. 2018. Universidade Federal Rural do Semi-árido. UFRSA. Departamento de Fitotecnia. Faculdade de Agronomia. Revista de Ciências Agrárias. Artigo. Pág. 23-33. Mossoró. RN. Brasil. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2017000100004. Acesso em: 11/04/2020.
- [33] STUCHI, J. F. Biofertilizante: Um adubo líquido de qualidade que você pode fazer. 2015. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de>

- [publicacoes/-/publicacao/1046948/biofertilizante-um-adubo-liquido-de-qualidade-que-voce-pode-fazer.](#)
Acesso em: 02/04/2020
- [34] LADEIRA, L. C. Valor agronômico de fertilizantes enriquecidos com microrganismos fixadores de azoto. 2017. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agricultura Tropical. Instituto Politécnico de Bragança. Escola Superior Agrária. Bragança. Portugal. Disponível em:
<https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/14229/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Vers%C3%A3o%20final%20-%20Laurindo.pdf>. Acesso em: 02/04/2020.
- [35] SANTOS, A. J.; MONÇÃO, O. P.; RIBEIRO, P. R. C. C.; AMARAL, R. F.; REIS, T. C. Efeito da aplicação foliar de biofertilizante na cultura da alface crespa veneranda. 2013. Universidade do Estado da Bahia. UNEB. Universidade Federal do Espírito Santo. UFES. Enciclopédia biosfera. V.9. N.17. Pág.1140. Goiânia. GO. Brasil. Disponível em:
<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/Efeito%20da%20aplicacao.pdf>. Acesso em: 11/04/2020.
- [36] OTENIO, M. H.; MACIEL, A. M.; SILVA, J. B. G.; PAULO, V. R.; NASCIMENTO, A. M. Aplicação de biofertilizante de água residuária da bovinocultura leiteira na cultura do milho. 2018. Universidade Federal de Juiz de Fora. UFJF. Comunicado técnico. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Ed. 86. Pág. 1-9. Juiz de Fora. MG. Brasil. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1094291/1/COT86AplicacaodeBiofertilizante.pdf>. Acesso em: 12/04/2020
- [37] MACIEL, A. M. Avaliação da aplicação de biofertilizante de bovinocultura proveniente da digestão anaeróbia em um planossolo. 2016. Universidade Federal de Juiz de Fora. UFJF. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia. Pág. 1-26. Juiz de Fora. MG. Brasil. Disponível em: http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TCC_Alyne_Maciel-1.pdf. Acesso em: 12/04/2020.
- [38] NASCIMENTO, A. M. Efeito da aplicação de biofertilizante proveniente da bovinocultura leiteira na cultura do milho (zeamays). 2016. Universidade Federal de Juiz de Fora. UFJF. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Engenharia. Pág.1-29. Juiz de Fora. MG. Brasil. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TCC-ultima-vers%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 12/04/2020.
- [39] MARTINS, M. E. G.; RODRIGUES, J. F. Desvio Padrão Amostral. 2013. Revista Ciência Elementar. V.1. N.1. Faculdade de Ciências da Universidade DE Lisboa. Departamento de Estatística e Investigação Operacional. Departamento de Matemática. Lisboa. Portugal. Disponível em:
https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/vol_1_num_1_18_art_desvioPadraoAmostral.pdf. Acesso em: 12/04/2020.
- [40] FONTENELL, M. R.; LIMA, C. E. P.; BONFIM, C. A.; ZANDONADI, D. B.; BRAGA, M. B.; PILON, L.; MACHADO, E. R.; RESENDE, F. V. Biofertilizante Hortbio: propriedades agrônômicas e instruções para o uso. 2017. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Universidade de Brasília. UNB. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. Circular técnica. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171011/1/CT-162.pdf>. Acesso em: 12/04/2020.
- [41] FERREIRA, F. A. R. Análise da pegada ambiental como função dos padrões de consumo de famílias portuguesas. 2018. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de Sistemas Ambientais. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Universidade de Lisboa. Lisboa. Portugal. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/45434/1/Ferreira_2018.pdf. Acesso em: 02/04/2020.
- [42] MULERO, C. B. Pegada ecológica como um indicador de sustentabilidade nos limites da expansão urbana de londrina – paraná. 2017. Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campos Londrina. Londrina. PR. Brasil. Disponível em:

- http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7988/1/LD_COEAM_2017_1_07.pdf. Acesso em: 02/04/2020.
- [43] THOMÉ, M. P. M.; SAROBA, C. Sustentabilidade socioambiental. 2017. Livro de Sustentabilidade socioambiental aplicado a engenharia. Centro Universitário Redentor. Campo dos Goytacazes. RJ. Brasil. Disponível em: [file:///C:/Users/Andr%C3%A9%20Amorim/Downloads/sustentabilidadeEaD%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Andr%C3%A9%20Amorim/Downloads/sustentabilidadeEaD%20(2).pdf). Acesso em: 02/04/2020.
- [44] WORLD WIDE FUND FOR NATURE. WWF. Componentes da Pegada Ecológica. 2020. Organização não governamental internacional. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/pegada_ecologica/o_que_compoe_a_pegada/. Acesso em: 02/04/2020.
- [45] PEREIRA, F.; Galli, D. L. A.; PIRES, S. M. Cálculo da Pegada Ecológica para os Municípios Portugueses. 2015. Global Footprint Network. ZERO. Universidade de Aveiro. UA. Portugal. Disponível em: http://zero.org/wp-content/uploads/2017/12/alt_Brochura_ZERO.pdf. Acesso em: 03/04/2020.
- [46] TIMMERS, G. J.; VALENTE, M.; MARTINS, T. S.; CEGANA, C.; CAMPOS, F.; ORTEGO, J. Pegada Ecológica da Cidade de Natal. 2015. Trabalho realizado com o WWF-Brasil em parceria com o programa Água Brasil. Livro. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: https://d3nehc6yl9gzo4.cloudfront.net/downloads/pegada_ecologica_natal.pdf. Acesso em: 03/04/2020.
- [47] GASPAS, F. Estratégia Nacional de Educação Ambiental. ENEA. 2017. Agencia Portuguesa do Ambiente. APA. Estratégia Nacional de Educação Ambiental para 2020. Lisboa. Portugal. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2017/ENEA/AF_Relatorio_ENEA2020.pdf. Acesso em: 03/04/2020.
- [48] DANISH; HASSAN, S. T.; BALOCH, M. A.; MAHMOOD N.; ZHANG, JW. Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity. 2019. University of Foreign Studies. Guangzhou. Beijing Institute of Technology. Beijing. Baoji university of Arts and science. Baoji. Article. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101516>. Acesso em: 03/04/2020.
- [49] SILVA, M. M.C. Pegada ecológica da Faculdade de Economia do Porto. 2014. Tese de Mestrado para a obtenção do Grau de Mestre em Economia e Gestão do Ambiente. Faculdade de Economia da Universidade do Porto. FEP. Economia e Gestão. Universidade do Porto. UP. Porto. Portugal. Disponível em: https://sigarra.up.pt/fpceup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=33948. Acesso em: 03/04/2020
- [50] SOARES, L. M. M. Pegada ecológica corporativa. 2013. Discussão Metodológica e Aplicação à STEF. Tese de Mestrado para obtenção do Grau de Mestre em Economia. Faculdade de Economia da Universidade do Porto. FEP. Universidade do Porto. UP. Porto. Portugal. Disponível em: https://sigarra.up.pt/fdup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=25286. Acesso em 03/04/2020
- [51] PROTOCOLO DE QUIOTO. Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. 1990. Versão Editada Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia, com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. Brasília. Distrito Federal. Brasil. Disponível em: http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmlima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf. Acesso em: 03/04/2020.
- [52] AGENCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. APA. Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas. 2019. Departamento de Alterações Climáticas. DCLIMA. Estimativa de Emissões. Memorando sobre emissões de CO2e elaborado com base na submissão para a CE. Lisboa Portugal. Disponível em: [https://apambiente.pt/_zdata/Inventario/May2019/20190515MemoEmissoesPT\(dados8Maio\).pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Inventario/May2019/20190515MemoEmissoesPT(dados8Maio).pdf). Acesso em: 03/04/2020.
- [53] BASE DE DADOS PORTUGAL CONTEMPORANEO. PORDATA. Emissões de Gases Por Habitantes. 2017. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://www.pordata.pt/Portugal/Emiss%C3%B5es+de+gases+por+habitante-1256>. Acesso em: 03/04/2020.
- [54] COMISSÃO EUROPEIA. RELATÓRIO DA COMISSÃO AO PARLAMENTO EUROPEU E AO CONSELHO. 2019. Elevação do nível de ambição a longo prazo. Relatório sobre a ação climática da UE de 2019. Bruxelas. Bélgica. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2019:0559:FIN:PT:PDF>. Acesso em: 03/04/2020
- [55] Decreto-Lei n.º 232/2007 de 15 de junho. Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC 2020/2030). 2007. Agencia Portuguesa do Ambiente. APA. Lisboa. Portugal. Disponível em:

- https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/GeoDocs/geoportaldocs/Consulta_Publica/DOCS_QEPIC/150515_P_NAC_Avaliacao_AAE.pdf. Acesso em; 03/04/2020.
- [56] Decreto-Lei n° 71/2006 de 24 de março. Diário da República - I Série - A. Fundo Português de Carbono. FPC. 2006. Ministério do Meio Ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://poseur.portugal2020.pt/media/3989/decreto-lei-que-cria-o-fundo-portugu%C3%AAs-de-carbono.pdf>. Acesso em: 03/04/2020.
- [57] AGENCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. APA. Estratégia Nacional de Adaptação as Alterações Climáticas. ENAAC. 2015. Governo Português. Ministério do Meio Ambiente, ordenamento do território e energia. Lisboa. Portugal. Disponível em: https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/ECidadania/Educacao_Ambiental/documentos/enaac_consulta_publica.pdf. Acesso em: 03/04/2020.
- [58] AGENCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. APA. Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050. RNBC. 2018. OPÇÕES DE TRANSIÇÃO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO COMPETITIVA EM 2050. Governo de Portugal. Ministério da Agricultura, do mar, do ambiente e do ordenamento de território. Alterações Climáticas. Lisboa. Portugal. Disponível em: http://apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2012/RNBC_COMPLETO_2050_V04.pdf. Acesso em: 03/04/2020.
- [59] CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. ONU. Declaração final da conferência das nações unidas sobre desenvolvimento sustentável. 2012. Rio+20. Documento Representativo do futuro que desejamos. Rio de Janeiro. RJ. Brasil. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/Politic/DesenvolvimentoSustentavel/2012_Declaracao_Rio.pdf. Acesso em: 03/04/2020.
- [60] UNITED NATIONS CENTRE FOR REGIONAL DEVELOPMENT. UNCRD. State of 3Rs in Asia and the Pacific. 2018. Experts Assessment of Progress in Ha Noi 3R Goals. Regional 3R Forum in Asia and the Pacific. 3R. Institute for Global Environmental Strategies. IGES. The Secretariat of the Regional 3R Forum in Asia and the Pacific. Financially Supported by: Ministry of the Environment, Government of Japan. Indore. Madhya Pradesh. India. Disponível em: [https://www.uncrd.or.jp/content/documents/6777\[full%20document\]%20State%20of%20the%203Rs%20in%20Asia%20and%20the%20Pacific.pdf](https://www.uncrd.or.jp/content/documents/6777[full%20document]%20State%20of%20the%203Rs%20in%20Asia%20and%20the%20Pacific.pdf). Acesso em: 03/04/2020.
- [61] RODRIGUES, A. J. S.; GOUVEIA, W. F.; SOUZA, K. S. F.; ROCHA, M. F. B.; SILVA, E. C. S. Aplicação da política dos 3r's, em conjunto com a tríade da sustentabilidade, para incentivar a redução de resíduos sólidos em serra branca – pb. 2017. XXXVII encontro nacional de engenharia de produção. Serra Branca. PB. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/323838061_APLICACAO_DA_POLITICA_DOS_3R'S_EM_CONJUNTO_COM_A_TRIADE_DA_SUSTENTABILIDADE_PARA_INCENTIVAR_A_REDUCAO_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_EM_SERRA_BRANCA-PB. Acesso em: 03/04/2020
- [62] PORTELLA, M. O.; RIBEIRO, J. C. J. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. 2014. Revista de Direito Ambiental e Sociedade. Universidade de Caxias do Sul. Artigo. Vol.4. N.1. Pág. 115-134. Caxias do Sul. RS. Brasil. Disponível em: <http://ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/viewFile/3687/2110>. Acesso em: 05/04/2020.
- [63] PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; LORA, E. E. S.; OLIVEIRA, M. A.; ROALCABA, O. D. C. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). 2016. Revista Brasil de Estudos de População. Rio de Janeiro (RJ). Universidade Federal de Itajubá. UNIFEI. Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída (Nest), Instituto de Engenharia Mecânica. V.33. N.1. Pág.155-188. Itajubá. MG. Brasil. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982016000100175&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 05/04/2020.
- [64] FERRÃO, P. M. C.; et.al. Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2014-2020. Instituto Superior Técnico. IST. Agencia Portuguesa do Ambiente. APA. Lisboa. Portugal. Disponível em: http://apambiente.pt/_zdata/Politic/Residuos/Planeamento/PNGR_rev_20141107_clean.pdf. Acesso em: 05/04/2020.

- [65] MARÇAL, A.; TEIXEIRA, A. R. Relatório Anual de Resíduos Sólidos Urbanos de 2017. 2018. Agência Portuguesa do Ambiente. APA. Departamento de Resíduos. Amadora. Portugal. Disponível em: [https://apambiente.pt/_zdata/Politic/Residuos/Residuos_Urbanos/Relatorio%20Residuos%20Urbanos%20\(RARU%202017\).pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Politic/Residuos/Residuos_Urbanos/Relatorio%20Residuos%20Urbanos%20(RARU%202017).pdf). Acesso em: 05/04/2020.
- [66] SERVIÇO INTERMUNICIPALIZADO DE GESTÃO DE RESÍDUOS DO GRANDE PORTO. LIPOR. Plano Estratégico de 2015-2020. 2020. Página da web. Gestão, valorização e tratamento dos Resíduos Urbanos. Porto. Disponível em: <https://lipor.pt/pt/a-lipor/>. Acesso em: 05/04/2020.
- [67] SULDOURO. Missão e Política do SGI. 2020. Página da web. Missão, Visão, Valores e Política. Tratamento de Resíduos sólidos em Gaia. Porto. Portugal. Disponível em: <http://www.suldouro.pt/pt/suldouro/missao-e-politica-do-sgi/>. Acesso em: 05/04/2020.
- [68] SOTECNOSOL. Projetos de Engenharia e Meio ambiente. 2020. Página da web. Obras e projetos de Engenharia: Gestão de resíduos, aterros sanitários, biodigestores, entre outros, em Lisboa, Porto, Coimbra e Algarve. Maia. Porto. Portugal. Disponível em: <https://www.sotecnisol.pt/>. Acesso em: 05/04/2020.
- [69] ENC ENERGY. Soluções em Engenharia. Energia de Novas Gerações: do lixo a energia. 2020. Princípios de Economia Circular. Projetos e missão. Gestão de Resíduos. Página da web. Gestão de resíduos sólidos. Gaia. Porto. Portugal. Disponível em: <https://www.encenergy.com/pt/>. Acesso em: 05/04/2020.
- [70] BARROS, N. Relatório de Sustentabilidade. 2006. Lipor 25 anos. Enquadramento e Desempenho da Organização. Serviço Intermunicipalizado De Gestão De Resíduos Do Grande Porto. LIPOR. Gabinete de Sustentabilidade. Gondomar. Porto. Portugal. Disponível em: https://www.lipor.pt/upload/Lipor/ficheiros/Rel_Sust_Lipor06.pdf. Acesso em: 05/04/2020.
- [71] FILHO, S. R. S. Proposta De Modelo De Aterro Sanitário Simplificado Para Municípios De Pequeno Porte. 2017. Universidade Federal da Paraíba. UFPB. Centro de Tecnologia. Curso de Engenharia Civil. Trabalho de Conclusão de Curso. Monografia. João Pessoa. PB. Brasil. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2016.2/proposta-de-modelo-de-aterro-sanitario-simplificado-para-municipios-de-pequeno-porte.pdf>. Acesso em: 05/04/2020.
- [72] BERTICELLI, R.; KORF, E. P.; PANDOLFO, A. Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos: Perspectivas e Desafios. 2016. Artigo. Revista Gestão Sustentável Ambiental. Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul. Vol.5. N.2. Pág.711-744. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318217988_GESTAO_INTEGRADA_DE_RESIDUOS_SOLIDOS_URBANOS_PERSPECTIVAS_E_DESAFIOS. Acesso em: 06/04/2020.
- [73] CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. ONU. RIO+20. Um compromisso de Gerações. Declaração final da conferência das nações unidas sobre desenvolvimento sustentável. O futuro que queremos. 2012. Ministério do Meio Ambiente. MMA. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. RJ. Brasil. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/Politic/DesenvolvimentoSustentavel/2012_Declaracao_Rio.pdf. Acesso em: 06/04/2020.
- [74] UNITED NATIONS CENTRE FOR REGIONAL DEVELOPMENT. UNCRD. State of the 3Rs in Asia and the Pacific. Regional 3R Forum in Asia and the Pacific 3R. 2018. Institute for Global Environmental Strategies. IGES Financially Supported by: Ministry of the Environment, Government of Japan. Indore. Madhya Pradesh. India. Disponível em: <https://www.uncred.or.jp/content/documents/6777/full%20document%20State%20of%20the%203Rs%20in%20Asia%20and%20the%20Pacific.pdf>. Acesso em: 06/04/2020.
- [75] SILVA, S.; FERREIRA, E.; ROESLER, C.; BORELLA, D.; GELATTI, E.; BOELTER, F.; MENDES, P. Os 5R da sustentabilidade. 2017. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. V Seminário de Jovens Pesquisadores em Economia & Desenvolvimento. Programa de Pós-graduação em Economia & Desenvolvimento. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: [http://coral.ufsm.br/seminarioeconomia/images/anais_2017/OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS.pdf](http://coral.ufsm.br/seminarioeconomia/images/anais_2017/OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS_5_RS_DA_SUSTENTABILIDADE_OS.pdf). Acesso em: 06/04/2020.

- [76] FONSECA, M. V. A.; CAMPOS, T. R. T. Rede 5Rs: a base estratégica para a operacionalização da política nacional de resíduos sólidos, no âmbito industrial. 2015. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ. XXXII Encontro Nacional De Engenharia De Produção. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção. Bento Gonsalves. RS. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/280840360_REDE_5RS_A_BASE ESTRATEGICA PARA A OPE RACIONALIZACAO DA POLITICA NACIONAL DE RESIDUOS SOLIDOS NO AMBITO INDUSTRIAL. Acesso em: 06/04/2020.
- [77] GORNI, P. M.; GOMES, G.; WOJAHN, R. M.; PADILHA, C. K. Consciência ambiental e sua influência sobre o comportamento de compra com vistas a preocupação ambiental. Universidade Regional de Blumenau. 2016. FURB. Comitê Científico Interinstitucional. Revista Contemporânea de Economia e Gestão. V.14. Nº 1. Blumenau. SC. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325030769_CONSCIENCIA AMBIENTAL E SUA INFLUENCIA SOBRE O COMPORTAMENTO DE COMPRA COM VISTAS A PREOCUPACAO AMBIENTAL. Acesso em :13/04/2020.
- [78] PINHEIRO, R. V. N.; LOBÓN, G. S.; SCALIZE, P. S. Risco de contaminação pela presença de disposição final de resíduos sólidos em bacias de captação superficial de água. 2018. Universidade Federal de Goiás. UFG. Artigo Técnico. Revista Sanitária Ambiental. V.23. N.5. Pág.871-880. Goiânia. GO. Brasil. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000500871. Aceso em: 13/04/2020.
- [79] Decreto Lei n.º 236/2017 de 11 de dezembro. Diário da República, 2º Suplemento, Série I. Decreto-Lei. Unifica o regime da gestão de fluxos específicos de resíduos sujeitos ao princípio da responsabilidade alargada do produtor. 2020. Programa Nacional de Reformas, como prioridade da política pública de resíduos. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://dre.pt/web/quest/pesquisa/-/search/114337042/details/normal?q=152-D%2F2017>. Acesso em: 13/04/2020.
- [80] LOCASTRO, J. K.; ANGELIS, B. L. D. Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários. 2016. Universidade Estadual de Maringá. Artigo. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas (UFESM). V.20. N.1. Pág.200-210. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/revget/article/view/19963>. Acesso em: 13/04/2020.
- [81] PAULA, G. S. Investigação das técnicas de impermeabilização de aterros utilizadas no estado do paraná. 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR. Departamento Acadêmico De Construção Civil. Curso de engenharia civil. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. Departamento Acadêmico de Construção Civil. obtenção do título de Bacharel. Curitiba. Paraná. Brasil. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8302/1/tecnicasimpermeabilizacaoterrosparana.pdf>. Acesso em: 13/04/2020.
- [82] SPINOLA, G. M. R. Caracterização e dimensionamento de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos no brasil e nos municípios paulistas. 2017. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. INPE. Ministério de Ciência e Tecnologia. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. CNPq. Relatório final de projeto de iniciação científica. Pág.1-48. São José dos Campos. SP. Brasil. Disponível em: <http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.09.18/doc/Gabriela%20Monteiro%20R.%20Spinola.pdf>. Acesso em: 13/04/2020.
- [83] Lima, P. G.; Tamarindo, U. G. F.; FORTI, J. C.; Junior, S. S. B. Avaliação de um aterro sanitário por meio do índice de qualidade de resíduos sólidos. 2017. Universidade Estadual Paulista. UNESP. Faculdade de Ciências e Engenharia. Brazilian Journal of Biosystems Engineering. V.11. Pág.88-106. Tupã. SP. Brasil. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/viewFile/491/320>. Acesso em: 13/04/2020.
- [84] NUNES, B. M. Evolução e Situação atual dos RSU em Portugal: Estudo de caso: comparação dos sistemas de RSU em Sintra e Münster. 2017. Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas. FCSH. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território. Área de Especialização em Ambiente e Recursos Naturais. Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/22036/1/Disserta%C3%A7%C3%A3oBernardoNunesRSU.pdf>. Acesso em: 13/04/2020.

- [85] JENDE, O. PROBIOGÁS. Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil. 2016. Coletânea de publicações. Desenvolvimento do Mercado de Biogás. Ministério das Cidades. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. GIZ. 74p. 1ª Edição. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: https://www.giz.de/en/downloads/giz_barreiras_digital_simples.pdf. Acesso em: 13/04/2020.
- [86] MÜLLER, M. C. Moda sustentável, consumo consciente e comunicação: estudo de casos no rio grande do sul. 2016. Universidade Fernando Pessoa. Dissertação. Obtenção de grau de Mestre em Ciências da Comunicação. Pág. 1-136. Porto. Portugal. Disponível em: https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/5839/1/DM_Madeleine%20M%C3%BCller.pdf. Acesso em: 13/04/2020.
- [87] PLANO ESTRATÉGICO PARA OS RESÍDUOS URBANOS. PERSU 2020+. 2019. Documento Para discussão pública. Instrumento de planeamento de referência na área dos resíduos urbanos (RU). Conjunto de ações que fundamentais na concretização da política de resíduos urbanos. Lisboa. Portugal. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2019/PERSU2020/PERSU2020%20Audicao_Publica_dez2018.pdf. Acesso em: 13/04/2020.
- [88] ALBARRACIN, A. L. T. Biogás Oriundo de Resíduos Como Vetor Energético no Brasil. 2016. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Faculdade de Engenharia Mecânica. Dissertação de Mestrado. Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos. Pág.1-116. Campinas. SP. Brasil. Disponível em: http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/320768/1/Albarracin_AstridLorenaTorres_M.pdf. Acesso em: 13/04/2020.
- [89] SAMPAIO, F. P. Produção centralizada a biogás - análise do impacto a nível cooperativo. 2012. Instituto Superior de Engenharia do Porto. ISEP. Dissertação. Departamento de Engenharia Eletrotécnica. DEE. Mestrado em Engenharia Eletrotécnica. Sistemas Elétricos de Engenharia. 1-175. Porto. Portugal. Disponível em: https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/4462/1/DM_FilipeSampaio_2012_MEESE.pdf. Acesso em: 13/04/2020.
- [90] ROCHA, C. M. Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares. 2016. Universidade Federal de Juiz de Fora. UFJF. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Trabalho Final de Curso. Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Pág. 1-61. Juiz de Fora. MG. Brasil. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TCC-camila-final-pdf.pdf>. Acesso em: 13/0/2020.
- [91] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. EPE. Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. 2014. Série de recursos energéticos. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro. RJ. Brasil. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2018%20-%20%20Invent%C3%A1rio%20Energ%C3%A9tico%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos%5B1%5D.pdf>. Acesso em: 13/04/2020.
- [92] GONÇALVES, A. L. Utilização de biomassa liquefeita na produção eletrolítica de gás de síntese. 2017. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. ISLE. Departamento de Engenharia química. Licenciatura em Engenharia Química e Biológica. Dissertação. Obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química e Biológica. Disponível em: <https://repositorio.isle.pt/handle/10400.21/8338>. Acesso em: 13/04/2020.
- [93] SILVA, E. R.; TONELI, J. T. C. L.; PALACIOS-BERECHE, R. Estimativa do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos usando modelos matemáticos de biodigestão anaeróbia e incineração. 2018. Universidade Federal do ABC. Artigo Técnico. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Pág. 347-357. Santo André. SP. Brasil. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522019000200347. Acesso em: 13/04/2020.
- [94] BAPTISTA, P.; CAMPOS, I.; Pires, I.; VAZ, S.; SOUSA, R.; DIAS, J. Do Campo ao Garfo. Desperdício Alimentar em Portugal. 2012. Fundação Calouste Gulbenkian. Prémio Ideias Verdes. Fundação Luso do Jornal Expresso. Lisboa. Portugal. Disponível em: http://www.cienciaviva.pt/img/upload/do_campo_ao_garfo.pdf. Acesso em: 13/04/2020.
- [95] COMISSÃO NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO ALIMENTAR. CNCDA. Combater o desperdício alimentar. Uma responsabilidade do produtor ao consumidor. 2017. Concertação, Sinergia e Envolvimento. República Portuguesa. Diário da República. 2.ª série. N.º 227. Relatório de Progresso. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://www.cncda.gov.pt/images/Resultados/RelatorioProgressoCNCDA31mar2017.pdf>. Acesso em: 13/04/2020.

- [96] MACHADO, J. S. Desperdício percebido e desperdício real em utilizadores de cantina institucional. 2017. Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação. Universidade do Porto. UP. Dissertação. Mestrado em alimentação coletiva. Porto. Portugal. Disponível em: https://sigarra.up.pt/fcnaup/pt/pub_geral/pub_view?pi_pub_base_id=234891. Acesso em: 15/04/2020.
- [97] ARAÚJO, A. P. C. Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico. 2017. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Química. Trabalho de conclusão de curso. Bacharel em Engenharia Química. Belo Horizonte. MG. Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%A1Dduos.pdf>. Acesso em: 15/04/2020.
- [98] PEREIRA, V.; FITZPATRICK, E. A. Cambisols and related soils in north-central Portugal: their genesis and classification. 1995. Science Direct. Journal and books. Article. Volume 66. Pages 185-212. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00076-M](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00076-M). Acesso em: 07/08/2019.
- [99] CARVALHO, A.B.; RECH, R.; MARCILIO, N.R.; TESSARIO, I.C. recuperação e purificação de biomassa das microalgas chlorella sp. E dunaliella tertiolecta utilizando microfiltração tangencial. 2015. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRS. Departamento de Engenharia Química. Instituto de Ciências e Tecnologia de Alimentos. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/300663682_RECUPERACAO_E_PURIFICACAO_DE_BIOMASSA_DAS_MICROALGAS_CHLORELLA_SP_E_DUNALIELLA_TERTIOLECTA_UTILIZANDO_MICROFILTRACAO_TANGENCIAL. Acesso em: 15/04/2020.
- [100] BRANCO, K. B. Z. F.; TREVISAN, E.; REIS, N. V.; ARROYO, P. A. PURIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DA MICROALGA *Scenedesmus accuminatus* VISANDO À PRODUÇÃO DE BIODIESEL. 2015. Universidade Estadual de Maringá. UEM. Departamento de Engenharia química. XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/300664160_PURIFICACAO_E_CARACTERIZACAO_DO_OLEO_DA_MICROALGA_Scenedesmus_accuminatus_VISANDO_A_PRODUCAO_DE_BIODIESEL. Acesso em: 15/04/2020.
- [101] ZORN, S. M. F. E. Desenvolvimento do processo de extração de lipídios da biomassa de microalgas marinhas. 2017. Universidade de São Paulo. USP. Escola de Engenharia de Lorena. Dissertação. Título de mestre em ciências do programa de pós-graduação em engenharia química. 124p. Lorena. SP. Brasil. Disponível em: https://sites.usp.br/ppgeq/wp-content/uploads/sites/537/2019/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Final_Savienne-Zorn.pdf. Acesso em: 15/04/2020.
- [102] MONÇÃO, F. S.; Sartori, M. L.; Veloso, R. V. S.; Pantoja, L. A.; Santos A. S. Microalgas e Biocombustíveis: Integração de Cadeias Produtivas. 2018. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de pós-graduação em biocombustíveis. Revista Virtual Química. V.10. N.4. Diamantina. MG. Brasil. Disponível em: <http://static.sites.sbg.org.br/rvq.sbg.org.br/pdf/MoncaoNoPrelo.pdf>. Acesso em: 15/04/2020.
- [103] SANTOS, R. B.; LIMA, A. K. C. Análise comparativa do biogás: processo em biodigestores e de aterro sanitário. 2016. Universidade Salvador. UNIFACS. Revista Eletrônica de Energia. V.6. N.1. P.48-57. Salvador. BA. Brasil. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/view/4285>. Acesso em: 15/04/2020.
- [104] LIMA, H. Q.; Carneiro, P. A.; KRUMMENAUER, E. J.; SILVA G. G.; Souza J. Pré-dimensionamento de um sistema para produção de Biogás a partir dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no município de Santo André. 2015. Artigo. Universidade Federal do ABC. Programa de pós-graduação em energia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre. RS. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/274735779_Pre-dimensionamento_de_um_sistema_para_producao_de_Biogas_a_partir_dos_Residuos_Solidos_Urbanos_RSU_no_municipio_de_Santo_Andre. Acesso em: 15/04/2020.
- [105] MTX CONSTRUTORA LTDA. Estudo de Impacto Ambiental. EIA. Central de tratamento, aterro industrial e aterro de resíduos da construção civil. 2017. Aterro Industrial, Resíduos Classe I e II. Aterro de Resíduos de Construção Civil-Resíduos Classe A. Coleta, transporte, armazenamento, tratamento e destinação final. V.1. 432p. Pirai do Sul. PR. Brasil. Disponível em: http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/2017_EIA_RIMA/EIA_MTX.pdf. Acesso em: 15/04/2020.

- [106] ARAÚJO, G. J. F. Análise energética, ambiental e econômica de biodigestores de circulação interna e concentradores de vinhaça para geração de eletricidade, fertilizantes e créditos de carbono em diferentes cenários econômicos. 2017. Dissertação. Universidade de São Paulo. USP. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto. Departamento de Administração. Programa de Pós-graduação em Administração de Organizações. 316p. Ribeirão Preto. SP. Brasil. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/96/96132/tde-31082017-092505/publico/GeraldoJFAraujo_Corrigida.pdf. Acesso em: 15/04/2020.
- [107] DEBONI, F. V. Licenciamento ambiental de plantas de biodigestão de resíduos - critérios e diretrizes para o estado do paraná. 2017. Universidade Federal do Paraná. UFPR. Disserta o. Setor da Tecnologia. Grau de mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial. 75p. Curitiba. PR. Brasil. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/49396/R%20-%20D%20-%20FLAVIA%20VERONESI%20DEBONI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15/04/2020.
- [108] VITAL, M. H. F.; INGOUVILLE, M.; PINTO, M. A. C. Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019. 2020. Banco Nacional de Desenvolvimento Econ mico Mundial. BNDS. Departamento de Meio Ambiente. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/3041/2/Estimativa%20de%20investimentos%20em%20aterros%20sanitarios_P.pdf. Acesso em: 15/04/2020.
- [109] FILHO, S. R. S. Proposta de modelo de aterro sanitário simplificado para municípios de pequeno porte. 2017. Universidade Federal da Paraíba. UFPB. Centro de Tecnologia. Curso de Engenharia Civil. Trabalho de Conclusão de Curso. Gradua o em Engenharia Civil. 92p. João Pessoa. PB. Brasil. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2016.2/proposta-de-modelo-de-aterro-sanitario-simplificado-para-municipios-de-pequeno-porte.pdf#page=53&zoom=100,109,149>. Acesso em: 15/04/2020.
- [110] CENTRAL DE TRATAMENTO E DESTINA O DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE TRÊS RIOS. CTDRS-TR. Estudo de Impacto Ambiental. EIA. 2015. Ecologic: Inteligência Ambiental. Instituto Estadual do Ambiente. INEA. 779p. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dilam/documents/document/zwew/mtx/-edisp/inea011174_2.pdf. Acesso em: 15/04/2020.
- [111] VALORIZA O E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. VALNOR. Manual de Explora o do Aterro Sanitário de Castelo Branco. 2015. 68p. Castelo Branco. Portugal. Disponível em: <http://www.valnor.pt/media/12858/manual-explora%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 15/04/2020.
- [112] PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L.; KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. V. Gestão Ambiental na Agropecuária. 2014. Livro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. V.2. 490p. Pág.236-281. Tecnologia de Tratamento de Resíduos Animais. Biodigestão e Compostagem. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Biog%C3%A1sFert++Tecnologias+para+o+tratamento+de+res%C3%ADuos+de+animais.pdf>. Acesso em: 15/04/2020
- [113] LEITE, C. B. Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético: Avalia o Econ mica entre as Tecnologias de Digestão Anaeróbica e Incinera o. 2016. Universidade de São Paulo. USP. Instituto de Energia e Ambiente. Programa de Pós-gradua o em Energia. Disserta o. Título de Mestre em Ciências.118p. São Paulo. SP. Brasil. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-28032017-134502/publico/Mestrado_Clauber_corrigida.pdf. Acesso em: 15/04/2020.
- [114] SILVA, C. A. Gerenciamento de Resíduos. 2013. Instituto Federal do Paraná. Ministério da Educa o. Secretaria de Educa o Profissional e Tecnológica. Educa o a Distância. E-TEC Brasil. 140p. Curitiba. PR. Brasil. Disponível em: <http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/1378/Gerenciamento%20de%20Residuos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15/04/2020.
- [115] MAGALHÃES, G. V. V. Avalia o da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos: ensaios de potencial bioquímico de metano e projeto piloto de um biodigestor em escala real. 2018. Universidade Federal do Ceará. UFCE. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Programa de Pós-gradua o em Engenharia Civil. Tese. Título de Doutor em Engenharia Civil. 131p. Fortaleza. CE. Brasil.

- Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/34759/1/2018_tese_gvvmagalh%C3%A3es.pdf. Acesso em: 15/04/2020.
- [116] CALZA, L. F.; LIMA, C. B.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; SANTOS, R. F. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. 2015. Universidade do Oeste Paulista. UNOESTE. Programa de pós-graduação em engenharia na agricultura. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering. Revista Engenharia Agrícola. v.35. N.6. Pág.990-997. Jaboticabal. SP. Brasil. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v35n6/1809-4430-eagri-35-6-0990.pdf>. Acesso em: 16/04/2020.
- [117] MOURA, R. S.; CARPIO, R. C.; MACEDO, C. F. C.; PINHEIRO, D. S.; FIGUEIREDO, L. S.; JUNIOR, L. C. F. Análise da viabilidade do uso de biodigestores em propriedades rurais. 2017. ForScience. Revista Científica do Instituto Federal de Minas Gerais. IFMG. Formiga. Universidade Federal de Itajubá. UNIFEI. V.5. N.3. Jul/dez 2017. Itajubá. MG. Brasil. Disponível em: <http://www.forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/282>. Acesso em: 16/04/2020.
- [118] PEREIRA, G. S. Implantação de um biodigestor de baixo custo em uma propriedade com criação de gado Leiteiro. 2018. Universidade Federal De Santa Catarina. UFSC. Trabalho De Conclusão De Curso. Título De Engenheiro de Energia. 31p. Araranguá. SC. Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/192371/TCC%20Gustavo%20da%20Silveira%20Pereira%20-%20Engenharia%20de%20Energia%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16/04/2020.
- [119] SILVA, M. T.; PIENIZ, L. P. Viabilidade econômico-financeira de implantação de um biodigestor em uma exploração leiteira de pequeno porte. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Título em Bacharel em Ciências Contábeis. Universidade da Cruz Alta. UNICRUZ. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. Universidade Federal Rural do Rio Grande do Sul. UFRGS. Cruz Alta. RS. Brasil. Disponível em: https://home.unicruz.edu.br/wp-content/uploads/2017/12/Viabilidade-econ_mico-financeira-de-implanta_o-de-um-biodigestor-em-uma-explora_o-leiteira-de-pequeno-porte.pdf. Acesso em: 16/04/2020.
- [120] STEINMETZ, R. Os modelos de biodigestores e bases para seu dimensionamento. 2018. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Geração e utilização de biogás a partir de resíduos agropecuários. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355242/0/Curso+Biog%C3%A1s+-+03+-+Os+modelos+de+biodigestores+e+bases+para+seu+dimensionamento.pdf>. Acesso em: 30/05/2020
- [121] ARAÚJO, M. I. B.; JÚNIOR, A. U. A.; LIMA, F. S.; NETO, J. M. S. Dimensionamento de Biodigestores Indiano para a cidade de Campina Grande. 2015. Universidade Federal de Campina Grande. UFCG. Encontro Regional de Química. V.3. N.1. Pág. 1-9. Campina Grande. PB. Brasil. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemistryproceedings/5erq4eng/eng19.pdf>. Acesso em: 30/05/2020.
- [122] NOGUEIRA, L. A. H. Biodigestão: Alternativa Energética. 1986. Livro. Pág: 1-93. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. MAPA. Biblioteca Nacional de Agricultura. Registro Catalográfico. Referência adotada para o não surgimento. Referência inicial. São Paulo. SP. Brasil. Disponível em: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=105530>. Acesso em: 28/07/2020.
- [123] GASPAR, R. M. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR. 2003. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Dissertação. Grau de Mestre em Engenharia de Produção. Planejamento e Estratégia Organizacional. Pág: 1-119. Referência adotada para o não surgimento. Referência inicial. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85585>. Acesso em: 28/07/2020.
- [124] SILVEIRA, B., et. al. GUIA TÉCNICO DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO. 2015. ETE. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. SNSA. Coletânea de publicações do PROBIOGÁS. Série Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto. 1º Edição. Ministério das Cidades. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). 183p. ISBN 978-85-7958-041-3. Disponível em: <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-guia-etes.pdf>. Acesso em: 28/07/2020.

- [125] ARAÚJO, A. P. C. PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZANDO BIODIGESTOR ANAERÓBICO. 2017. Universidade Federal de Uberlândia. UFU. Faculdade de Engenharia Química. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação. Monografia. Título de Bacharel em Engenharia Química. 42p. Belo Horizonte. MG. Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBioq%C3%A1sRes%C3%A1Duos.pdf>. Acesso em: 28/07/2020.
- [126] MOÇO, E. A. S. Projeto de uma unidade produtora de biogás. 2012. Instituto Politécnico de Tomar. Escola Superior de Tecnologia de Tomar. Dissertação. Grau de Mestre em Tecnologia Química. Tomar. Tejo. Portugal. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/5847/1/Eunice%20Mo%C3%A7o%20-%209380%20-%20Projeto%20de%20uma%20unidade%20produtora%20de%20biog%C3%A1s.pdf> Acesso em: 28/07/2020.
- [127] SOTECNISOL POWER & WATER. Soluções para Valorização Energética do Biogás. 2020. Página da web. Conceitos, Testemunhos e Informações técnicas. Porto. Portugal. Disponível em: <https://www.sotecnisol.pt/power-water-solutions/servicos/biogas/biogas/> Acesso em: 28/07/2020.
- [128] AMARAL, A. C.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. O processo de biodigestão. 2016. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. EMBRAPA Informática Agropecuária. CNPTIA. Livro. Capítulo 1. Pág: 1-14. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento da digestão. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197604/1/final9154.pdf>. Acesso em 28/07/2020.
- [129] FERREIRA, N. A. L.; AIRES, K. O.; ALMEIDA, M. V. A.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. 2016. Avaliação das concentrações de metano gerado em um biorreator de bancada com base em parâmetros físico-químicos. Artigo técnico. Universidade Federal de Campina Grande. UFCG. Universidade Estadual Paraíba. UEPB. Universidade Federal de Pernambuco. UFPE. Engenharia Sanitária e Ambiental. V.22. N°3. Pág.473-479. DOI: 10.1590/S1413-41522017145766. Recife. PE. Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v22n3/1809-4457-esa-22-03-00473.pdf>. Acesso em: 28/07/2020.
- [130] AMARAL, A. C. Digestão anaeróbia de dejetos suínos: potencial bioquímico de metano e a influência de estratégias operacionais. 2017. Universidade Estadual do Oeste Do Paraná. UNIOESTE. Campus de Cascavel. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Tese. Título de Doutor em Engenharia Agrícola. Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Cascavel. PR. Brasil. Disponível em: http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/3042/2/Andre_Amaral2017.pdf. Acesso em: 28/07/2020.
- [131] FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G.; FRIGO, E. P. Biodigestores: seus modelos e aplicações. 2015. Universidade do Oeste Paulista. UNOESTE. Acta Iguazu. Artigo. ISSN: 2316-4093. V.4. N° 1. Pág: 57 – 65. Cascavel. PR. Brasil. Disponível em: <http://saber.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/viewFile/12528/8708>. Acesso em: 28/07/2020.
- [132] CALZA, L. F.; LIMA, C. B.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; SANTOS, R. do F. Avaliação dos Custos de Implantação de Biodigestores e da Energia Produzida pelo Biogás. 2015. Universidade do Oeste Paulista. UNOESTE. Artigo. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering. ISSN: 1809-4430. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n6p990-997/2015>. V. 35. N° 6. Pág. 990-997. Jabcabal. SP. Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/eagri/v35n6/1809-4430-eagri-35-6-0990.pdf>. Acesso em: 28/07/2020.
- [133] BARROS, T. D. Biodigestores de Batelada. 2015. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. AGEITEC. Agroenergia. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj06suh302wviv802hvm3ja3fm10a.html>. Acesso em: 28/07/2020.
- [134] GUERI, M. V. D. Avaliação do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares em reatores batelada e semi-contínuo. 2017. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. UNIOESTE. Centro de Engenharia e Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Bioenergia. Dissertação. Título de mestrado em Bioenergia. Biocombustíveis. Pág. 1-97. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2904/2/Matheus%20V%20D%20Gueri%202017.pdf>. Acesso em: 28/07/2020.

- [135] CARDOSO, P. B. C. S. Avaliação de um sistema híbrido de produção de biogás. 2013. Universidade Estadual Paulista. UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Dissertação. Título de mestrado em Zootecnia. 52p. Jaboticabal. SP. Brasil. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96513/000737516.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 28/07/2020.
- [136] KAJAU, G.; MADYIRA, D. M. Analysis of the Zimbabwe Biodigester Status. 2019. 2nd International Conference on Sustainable Materials Processing and Manufacturing. ScienceDirect. Department of Mechanical Engineering Science. University of Johannesburg. South Africa. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978919307152>. Acesso em: 28/07/2020.
- [137] FREITAS F.F.; SOUZAL S.S.; FERREIRA, R.A.; OTTO, R.B.; ALESSIO, F.J.; SOUZA, S.N.M.; VENTURINI, O.J.; ANDO JUNIO, O. H. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. 2019. Federal University of Itajubá. UNIFEI. Federal University of Latin American Integration. UNILA. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. State University of Western Paraná. UNIOESTE. Science Direct. Cascavel. PR. Brasil. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307391>. Acesso em: 28/07/2020.
- [138] LUSTOSA, G. N.; MEDEIROS, Í. H. B. Proposta de um biodigestor anaeróbio modificado para produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos sólidos orgânicos. 2014. Universidade de Brasília. UnB. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso. Monografia. Título em Bacharel em Engenharia Civil. 74p. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12346/1/2014_GleudsonNeresLustosa_IcaroHendrixBorgesdeMedeiros.pdf. Acesso em: 28/07/2020.
- [139] NETO, R. C. S.; BERCHIN, I. I.; MAGTOTO, M.; BERCHIN, S.; XAVIER, W. G.; GUERRA, J. B. S.O. A. An integrative approach for the water-energy-food nexus in beef cattleproduction: A simulation of the proposed model to Brazil. 2018. ScienceDirect. Universidade do Sul de Santa Catarina. UNISUL. Iowa State University. Faculdades Metropolitanas Unidas. FMU. Cambridge Centre for Environment, Energy and Natural Resource Governance. C-EENRG. University of Cambridge. Journal of cleaner production. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618325435>. Acesso em: 28/07/2020.
- [140] BEZERRA, G. P. F. Avaliação de diferentes modelos de biodigestores para tratamento de resíduos sólidos urbanos gerados no restaurante universitário da UFPB. 2016. Universidade Federal da Paraíba. UFPB. Centro de Tecnologia. Dissertação. Título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental. 63p. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9120/2/arquivototal.pdf>. Acesso em: 28/07/2020.
- [141] SCHWANTES D.; GONÇALVES JR., A. C.; RICHART, A.; CASTRO, G. M.; TRESPACH, F. W.; CEZARIO, N. S.; MANFRIN, J. Biodigestores alternativos no tratamento de resíduos orgânicos. 2017. Universidade Federal do Paraná. UFPR. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. UNIOESTE. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. PUCPR. Universidade Estadual de Londrina. UEL. Scientia Agraria Paranaensis. ISSN: 1983-1471. 10p. Palotina. PR. Brasil. Disponível em: <http://saber.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/15651/12133>. Acesso em: 29/07/2020.
- [142] MEYER, 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. 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFP. Campus Ponta Grossa. Departamento Acadêmico De Engenharia Química. Trabalho de Conclusão de Curso. Monografia. Título em Bacharel em Engenharia Química. Ponta Grossa. Paraná. Brasil. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/8392/1/PG_COENQ_2017_2_07.pdf. Acesso em: 29/07/2020.
- [143] DELFORNO, T. P.; JÚNIOR, G. V. L.; NORONHA, M. F.; SAKAMOTO, I. K.; VARESCHE, M. B. A.; OLIVEIRA, V. M. Microbial diversity of a full- scale UASB reactor applied to poultry slaughterhouse wastewater treatment: integration of 16S rRNA gene amplicon and shotgun metagenomic sequencing. 2017. Campinas University. UNICAMP. University of São Paulo. USP. Campinas. SP. Brasil. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/mbo3.443>. Acesso em: 29/07/2020.
- [144] XING, H.; WANG, H.; FANG, F.; LI, K.; LIU, L.; CHEN, Y.; GUO, J. Effect of increase in salinity on ANAMMOX–UASB reactor stability. 2017. Journal. Environmental Technology. V. 38. N° 9. Pág. 1184-1190. Disponível em:

- <https://iahr.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/09593330.2016.1223174?needAccess=true>. Acesso em: 29/07/2020.
- [145] ÁGUAS CLARAS ENGENHARIA. Funcionamento de um Reator UASB: Vantagens e desvantagens. 2020. Página da WEB. Disponível em: <https://aguasclarasengenharia.com.br/como-funciona-reator-uasb/>. Acesso em: 29/07/2020.
- [146] REINO, C.; CARRERA, J. Low-strength wastewater treatment in an anammox UASB reactor: Effect of the liquid upflow velocity. Universitat Autònoma de Barcelona. ScienceDirect. Chemical Engineering Journal. Spain. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894716318022>. Acesso em: 29/07/2020.
- [147] CHEN, C.; Liang, J.; YOZA, B. A.; LI, Q. X.; ZHAN, Y.; WANG, Q. Evaluation of an up-flow anaerobic sludge bed (UASB) reactor containing diatomite and maifanite for the improved treatment of petroleum wastewater. 2017. China University of Petroleum. University of Hawaii. ScienceDirect. Journal Bioresource Technology. Pág. 620-627. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417310751>. Acesso em: 29/07/2020.
- [148] NAJIB, T.; SOLGI, M.; FARAZMAND, A.; HEYDARIAN, S. M.; NASERNEJAD, B. Optimization of sulfate removal by sulfate reducing bacteria using responsesurface methodology and heavy metal removal in a sulfidogenic UASB reactor. 2017. Amirkabir University of Technology. Babol Noshirvani University of Technology. Iranian Research Organization for Science and Technology. Pág. 3256-3265. ScienceDirect. Journal of Environmental Chemical Engineering. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S221334371730266X?token=69959EE18AB63DB572735B645F6305C34352AC4CEE7B76D0F06D642FE68D598A523C85931FD84B74E15E69A796791A0E>. Acesso em: 29/07/2020.
- [149] RIBEIRO, F. R.; PASSOS, F.; GURGEL, L. V. A.; BAËTA, B. E. L.; AQUINO, S. F. Anaerobic digestion of hemicellulose hydrolysate produced after hydrothermal pretreatment of sugarcane bagasse in UASB reactor. 2017. Universidade Federal de Ouro Preto. UFOP. ScienceDirect. Science of the Total Environment. Pág. 1108-1113. Ouro Preto. Minas Gerais. Brasil. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0048969717301870?token=1DB7DFE3263C6102FA82C079366C88ED397CB9DA90B504611AA3843AF2B95C38F7D8F35E3DE12EFE7A5B05C8060162EA>. Acesso em: 29/07/2020.
- [150] FUESS, L. T. Biodigestão Anaeróbia Temofílica de vinhaça em sistemas combinados do tipo acidogênico-metanogênico para potencialização da recuperação de bioenergia em biorrefinarias de cana de açúcar de primeira geração. 2017. Universidade de São Paulo. USP. Tese. Título de Doutor em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento. 344p. São Carlos. SP. Brasil. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13042017-145118/en.php>. Acesso em: 29/07/2020.
- [151] GUERRA, E. D. Avaliação da influência do ferro e do sulfato na degradação de paracetamol em reatores biológicos anaeróbios. 2017. Centro Universitário Tabosa de Almeida. ASCES/UNITA. Trabalho de Conclusão de Curso. 48p. Monografia. Título de bacharel em Engenharia Ambiental. Caruaru. Pernambuco. Brasil. Disponível em: <http://200-98-146-54.cloudnuol.com.br/handle/123456789/994>. Acesso em: 29/07/2020.
- [152] BIANCO, C. I. Caracterização da Comunidade procarionte presente no tratamento anaeróbico da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos em conjunto com a serragem e lodo de esgoto. 2015. Universidade de São Paulo. USP. Dissertação. Título de mestre em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento. São Paulo. SP. Brasil. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-21122015-111011/publico/Dissertacao_CarolinalbelliBianco_VersaoCorrigida.pdf. Acesso em: 29/07/2020.
- [153] SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. 2017. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. UNIOESTE. Pesquisas Agrárias e Ambientais. V.5. Pág. 509 - 514. ISSN: 2318-7670. Marechal Cândido Rondon. PN. Brasil. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/229928909.pdf>. Acesso em: 29/07/2020.
- [154] ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N.; SILVA, L. G. S.; ELIAS, M. J. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. 12p. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em:

- https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3427288/mod_resource/content/1/Biodigestores%20rurais.pdf. Acesso em: 29/07/2020.
- [155] KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N. P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E.; KOCH, F. F.; PEDROSO, A. G. Manual Básico de Biogás. 2014. Universidade do Vale do Taquari. UNIVATES. 1º Edição. 69p. ISBN 978-85-8167-073-7. Lajeado. RS. Brasil. Disponível em: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf. Acesso em: 29/07/2020.
- [156] DAVIES, F. D.; STULP, S. Determinações de gás metano (CH₄) gerado em estação de tratamento de efluentes, com avaliação do poder calorífico para queima em caldeira. Universidade do Vale do Taquari. UNIVATES. Revista Destaques Acadêmicos. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. V.8. N°4. Pág. 230-244. ISSN 2176-3070. Disponível em: <http://univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/1213>. Acesso em: 29/07/2020.
- [157] LEITE, W. R. M. Digestão anaeróbia em temperaturas mesofílica e termofílica de lodo de ete usando reatores de estágio único e dois estágios. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. Tese. Doutor em Engenharia Ambiental. 193p. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/160735/337906.pdf?sequence=1>. Acesso em: 29/07/2020.
- [158] OLIVEIRA, G. O. Vinhaça da cana-de-açúcar: Fluxos de gases do efeito estufa e comunidades de archaea presente do sedimento do canal de distribuição. 2010. Universidade de São Paulo. USP. Dissertação. Título de mestre em ciências. 97p. Microbiologia Agrícola. Piracicaba. SP. Brasil. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/0ee7/a1092f7796a55e109b108f47d1a9a920f666.pdf>. Acesso em: 30/07/2020.
- [159] ALENCAR, L. C. Potencial bioquímico da produção de metano da fração biodegradável dos resíduos sólidos urbanos de campinas-SP. 2017. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Dissertação. Título de mestre em Engenharia Química. 107p. Campinas. SP. Brasil. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/331597>. Acesso em: 30/07/2020.
- [160] TUNES, C. R. Produção de biogás a partir da digestão anaeróbica de efluentes orgânicos em reator UASB. 2017. Universidade Federal do Tocantins. UFT. Dissertação. Título de mestre em Biotecnologia. 75p. Palmas. TO. Brasil. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2017/05/biogas-reator-uasb.pdf>. Acesso em: 30/07/2020.
- [161] CASTRO, D. S.; MATEUS, V. O. Produção de biogás a partir de restos de alimentos coletados em um restaurante: uma experiência a ser disseminada. 2016. Universidade de Salvador – Campus costa sul. UNIFACS. Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. XV SEPA. 20p. Salvador. BA. Brasil. Disponível em: <https://revistas.unifacs.br/index.php/sepa>. Acesso em: 30/07/2020.
- [162] RESENDE, E. M. S.; CUENIN, P.; SILVA, R. N.; JANSSEN, A.; CARDOSO, I. M. As vivências como metodologia de identificação de problemas: a gestão dos estercos. 2017. Simpósio de Pós-Graduação em Agroecologia. Universidade Federal de Viçosa. VI SIMPA. UFV. University of Amsterdam. Pág: 58-61. Viçosa. MG. Brasil. Disponível em: <https://www.simposioppgagroecologia.ufv.br/wp-content/uploads/2018/01/Anais-do-Simp%C3%B3sio-de-P%C3%B3s-Gradua%C3%A7%C3%A3o-em-Agroecologia-da-UFV-2017.pdf#page=46>. Acesso em: 03/08/2020.
- [163] ORMOND, J. G. P. Glossário de Termos Usados em Atividades Agropecuárias, Florestais e Ciências Ambientais. 2006. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 3º Edição. 316p. Rio de Janeiro. RJ. Brasil. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/arquivos/glossrio_bndes_textodoc_46.pdf. Acesso em: 03/08/2020.
- [164] GUAZZELLI, M. J. B.; RUPP, L. C. D.; VENTURINI, L. Biofertilizantes. 2012. Programa de fortalecimento da viticultura familiar da Serra Gaúcha. 1º publicação técnica. Rio Grande do Sul. RS. Brasil. Disponível em: <http://www.centroecologico.org.br/cartilhas/Biofertilizantes.pdf>. Acesso em: 03/08/2020.
- [165] CORDEIRO, P. H. M. Avaliação da biometanização do hidrolisado hemicelulósico obtido pela auto-hidrólise do bagaço de cana-de-açúcar em sistemas anaeróbios de duplo estágio e um estágio na presença de carvão ativado em pó. 2018. Universidade Federal de Ouro Preto. UFOP. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. PROAMB. Dissertação. Título de mestre em Engenharia Ambiental. 106p. Ouro Preto.

- MG. Brasil. Disponível em: https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/10270/1/DISSERTA%3%87%3%83O_Avalia%3%a7%3%a3oBiometaaniza%3%a7%3%a3oHidrolisado.pdf. Acesso em: 03/08/2020.
- [166] BLASIUS, J. P. Influência de diferentes composições de resíduos alimentares no processo de biometanização. 2019. Universidade Estadual Paulista. UEP. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Campus de Rio Claro. Dissertação. Título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente. 113p. Rio Claro. SP. Brasil. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181887/blasius_jp_me_rcla.pdf?sequence=5&isAllowed=y. Acesso em: 03/08/2020.
- [167] MARIANI, L. Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil. 2018. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. UEC. Faculdade de Engenharia Mecânica. Tese. Título de Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos. 144p. Campinas. SP. Brasil. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/333144/1/Mariani_Leidiane_D.pdf. Acesso em: 03/08/2020.
- [168] ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. 2019. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Artigo. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. V.24. N.2. Belo Horizonte. MG. Brasil. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522019000200219&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 03/08/2020.
- [169] PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA 2021-2030. PNEC 2030. 2019. Agência Portuguesa do Ambiente. APA. Governo de Portugal. 200p. Lisboa. Portugal. Disponível em: https://apambiente.pt/_zdata/Alteracoes_Climaticas/Mitigacao/PNEC/PNEC%20PT_Template%20Final%20019%2030122019.pdf. Acesso em: 03/08/2020.
- [170] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. Marco para o Desenvolvimento de Estatísticas Ambientais. 2018. Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais. Divisão de Estatística. 421p. Versão Final. Traduzido para o Português. New York. EUA. Disponível em: https://unstats.un.org/unsd/environment/FDES/FDES-2015-supporting-tools/FDES_Portugues_4Feb2019.pdf. Acesso em: 03/08/2020.
- [171] HARUN, R.; SINGH, M.; FORDE, G. M.; DANQUAH, M. K. Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. 2010. Article. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Bio Engineering Laboratory (BEL). Department of Chemical Engineering. Monash University. Vitoria. Australia. Department of Chemical and Environmental Engineering. University Putra Malaysia. Serdang, Malaysia. Ed. 14. Pág: 1037–1047. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032109002664>. Acesso em: 04/02/2020.
- [172] CPT. CENTRO DE PRODUÇÕES TÉCNICAS. Série de energia alternativa: Biodigestor. Curso de Energia Alternativa. 2015. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/cursos-energiaalternativa/construcao-e-operacao-de-biodigestores>. Acesso em: 04/02/2020.
- [173] SABONNADIÈRE, JC. Renewable Energies. 2009. Biofuels. Biogas. Energy Production from Wood. Livro. Vol. 2. Pág: 329-470. Disponível em: <https://www.amazon.fr/Renewable-Energy-Technologies-Jean-Claude-Sabonnadi%C3%A8re/dp/184821135X>. Acesso em: 04/02/2020.
- [174] PONTUAL, L. V. Rendimento e eficiência de purificação de um reator de microalgas. 2019. Minicurso. Gestão de resíduos sólidos para geração energética. Técnicas de Purificação. Universidade Federal Fluminense. UFF. Niterói. Rio de Janeiro. Brasil.
- [175] COLLA, L. M. Aplicações Ambientais de Microalgas. 2012. Universidade de Passo Fundo. UPF. Artigo. Revista CIATEC. Vol. 4. Pág: 48-60. São José. RS. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/272713914_APLICACOES_AMBIENTAIS_DE_MICROALGAS. Acesso em: 30/01/2020.
- [176] ANDRADE, M. R.; COSTA, J. A. V. Cultivo da microalga *Spirulina platensis* em fontes alternativas de nutrientes. 2008. Escola de Engenharia Química e Alimentos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. UFRS. Ciência e Agrotecnologia. v. 32, n. 5, p. 1551-1556. Farroupilha. RS. Brasil. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000500029. Acesso em: 30/01/2020.
- [177] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Microalgas. Revista EMBRAPA Agroenergia. 2016. Ano. IV. N° 10. ISSN 2238-1023. Pág: 1-60. Brasília. DF. Brasil. Disponível em:

- <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/153095/1/Agroenergia-Revista-microalgas-ed10-red.pdf>. Acesso em: 30/01/2020.
- [178] LUBIANA, K. M. F. Microalgas: Ecologia, biodiversidade e importância. 2017. Universidade Federal do Espírito Santo. UFES. Artigo. Pág: 1-15. Vitória. ES. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313302649_Microalgas_ecologia_biodiversidade_e_importancia. Acesso em: 30/01/2020.
- [179] MIYAWAKI B. Purificação de Biogás Através de Cultivo de Microalgas em Resíduos Agroindustriais. 2014. Universidade Federal do Paraná. UFPR. Dissertação. Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais. Setor de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais. Pág. 1-130. Curitiba. PR. Brasil. Disponível em: <http://www.pipe.ufpr.br/porta/defesas/dissertacao/265.pdf>. Acesso em: 30/01/2020.
- [180] ANTUNES, R.; SILVA, I. S. Utilização de algas para produção de biocombustíveis. Instituto Nacional de Propriedade Industrial. INPI. 2010. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://inpi.justica.gov.pt/Portals/6/PDF%20INPI/Eco-tecnologias/Utilizac%CC%A7a%CC%83o%20de%20algas%20para%20a%20produc%CC%A7a%CC%83o%20de%20biocombusti%CC%81veis.pdf?ver=2017-08-28-110418-200>. Acesso em: 30/01/2020.
- [181] BRONZATO, G. R. F. Seleção de linhagens de microalgas para a produção de biodiesel. 2012. Universidade De São Paulo. USP. Escola de Engenharia de Lorena. São Paulo. SP. Brasil. Disponível em: <https://slidex.tips/download/seleao-de-linhagens-de-microalgas-para-a-producao-de-biodiesel>. Acesso em: 30/01/2020
- [182] MATSUOKA, G. Y.; HIPÓLITO, G. Purificação de biogás de aterro sanitário por tratamento químico e metabolismo de microalgas. 2015. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR. Departamento Acadêmico de Química e Biologia. Curso de tecnologia em processos ambientais. Curitiba. PR. Brasil. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6773/1/CT_COPAM_2015_1_06.pdf. Acesso em: 30/01/2020.
- [183] DOUCHA, J. Utilization of flue gas for cultivation of microalgae (*Chlorella* sp.) in an outdoor open thin-layer photobioreactor. 2005. Laboratory of Cell Cycles and Microalgal Biotechnology. Institute of Microbiology. Academy of Sciences of the Czech Republic. Fuel Research Institute, Praha, Bechovice. Czech Republic. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/227304402_Utilization_of_flue_gas_for_cultivation_of_microalgae_Chlorella_sp_in_an_outdoor_open_thin-layer_photobioreactor. Acesso em: 30/01/2020.
- [184] PREFEITURA DE GONDOMAR. Relatório De Gestão De Conta E Gerencia. 2016. Gondomar. Porto. Disponível em: https://www.cm-gondomar.pt/wp-content/uploads/2018/02/relatorio_contas_2016.pdf. Acesso em: 06/08/2019.
- [185] PREFEITURA DE GONDOMAR. Relatório sobre o estado do ordenamento do território de Gondomar. 2018. Gondomar. Porto. Disponível em: https://www.cm-gondomar.pt/wp-content/uploads/2018/12/2018.12.17-Doc_REOT_DelC_dez2018.pdf. Acesso em: 06/08/2019.
- [186] PLANO DE ORDENAMENTO DA ALBUFEIRA DE CRESTUMA-LEVER. POACL. Estudo de Base. Enquadramento Territorial Socioeconômico. 2004. Instituto da Água. Programa Ambiente. Projeto Co-financiado pela FEDER. Portugal. Disponível em: https://apambiente.pt/zdata/Ordenamento/POA/Crestuma/EstudosBase_ENQUADRAMENTO%20TERRITORIAL%20E%20SOCIO-ECONOMICO.pdf. Acesso em: 06/08/2019.
- [187] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. Fome zero e agricultura sustentável. 2017. Documentos temáticos. Nações Unidas Brasil. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2017/06/Documento-Tem%C3%A1tico-ODS-2-Fome-Zero_11junho2017.pdf. Acesso em: 06/08/2019.
- [188] INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA. IPEA. Fome zero e agricultura sustentável. 2019. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável. Caderno ODS. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9341/1/Cadernos_ODS_Objeto_2_Fome%20zero%20e%20agricultura%20sustentavel.pdf. Acesso em: 06/08/2020.

- [189] OLIVEIRA J.; CARVALHO, A.; BARROS, N.; VELOSO, R.; ABREU, S. Agenda 21: Plano de Ação Gondomar. 2009. Disponível em: https://www.lipor.pt/fotos/editor2/pa_gondomar_scosme.pdf. Acesso em: 06/08/2019.
- [190] AMORIM, A. L. F. Trabalhos práticos. Desenhos esquemáticos, dimensionamentos e fotografias de equipamentos e procedimentos. 2020. Proposta de mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. FCUP. Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente. CTA. Laboratório Ambiental. Dissertação. Porto. Portugal.
- [191] DECRETO LEI N°13057/2015, de 6 de agosto de 2019. Diário da República. N° 219/2015. Série II de 2015-11-09. Município de Gondomar. Porto. Disponível em: https://dre.pt/pesquisa/-/search/70948212/details/maximized?ip=true&print_preview=print-preview&perPage=100&q=decreto-lei+26%2F2015%2Fen. Acesso em: 06/08/2019.
- [192] RAMOS, P. S. Programas de Monitorização e Controle de Agentes Bióticos Nocivos. 2012. Revista da Associação Nacional de Empresas Florestais, Agrícolas e do Ambiente. ANEFA. Disponível em: https://static1.squarespace.com/static/56f17381f8baf348c571b7fb/t/5708e62786db439cd762f034/1460201007846/revista_18.pdf. Acesso em: 06/08/2019.
- [193] SICNOTÍCIAS. Incêndios ameaçam fabricas e casas em Gondomar. 2016. Página da web. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://sicnoticias.pt/pais/2016-08-10-Incendios-ameacam-casas-e-fabricas-em-Gondomar>. Acesso em: 06/08/2019.
- [194] JORNAL DE NOTÍCIAS. JN. Bombeiros combatem incêndio em zona florestal de Medas. 2020. Página da web. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://www.jn.pt/local/noticias/porto/gondomar/bombeiros-combatem-incendio-em-zona-florestal-de-medas-11739663.html>. Acesso em: 05/08/2020.
- [195] NEVES, T.; TEXEIRA, A.; SOARES, A. Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios. 2016. Câmara Municipal de Gondomar. Diagnostico de informação de base. Caracterização do Município. Avaliação da probabilidade. Fatores para a ocorrência de incêndios florestais. Versão Final. 54p. Porto. Portugal. Disponível em: https://www.cm-gondomar.pt/wp-content/uploads/2018/02/CADERNO_I_1304_PMDFCI.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [196] DECRETO LEI N° 19/2014. Bases da Política do Ambiente. Diário da República N° 73/2014. Serie I. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://dre.pt/web/quest/legislacao-consolidada/-/lc/107738403/201708111338/exportPdf/maximized/1/cacheLevelPage?rp=indice>. Acesso em: 06/08/2020.
- [197] OLIVEIRA, M. M. D.; MENDES, M.; HANSEL, C. M.; DAMIANI, S. Cidadania, meio ambiente e sustentabilidade. 2017. Universidade Caxias do Sul. Fundação Universidade de Caxias do Sul. 540p. Disponível em: https://www.uces.br/site/midia/arquivos/ebook-cidadani-meioamb_3.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [198] NETO, C. P.; VALENTE, C.; GONÇALVES, C.; MARQUES, C.; FERREIRA, D.; FONTES, L.; FABRES, S.; CORTICEIRO, S.; LÉ, J.; CARVALHO, J. L.; OLIVEIRA, T. A sustentabilidade das plantações de eucalipto em Portugal. 2016. Associação da Industria Papeleira. CELPA. Mancha Criativa - Design e Comunicação, Ltda. Banco de imagens da Celpa. The Navigator Company. 32p. Lisboa. Portugal. Disponível em: http://www.celpa.pt/melhoreucalipto/wp-content/uploads/2017/12/vers%C3%A3o-final_BrochuraSustentabilidade.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [199] VILELA, G. F.; BENTES, M. P. M.; OLIVEIRA, Y. M. M.; MARQUES, D. K. S.; SILVA, J. C. B. Objetivos de desenvolvimento sustentável. Vida Terrestre. Contribuições da EMBRAPA.2018. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. MAPA. 122p. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1093547/1/YedaODS15cap4.pdf>. Acesso em: 06/08/2020.
- [200] BRITO, V. N.; TELLECHEA, F. R. F.; HEITOR, L. C.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de Paricá. 2017. Universidade Federal de Viçosa. UFV. Universidade Estadual do Norte Fluminense. UENF. Universidade Federal do Espírito Santo. UFES. Artigo. Ciência Florestal. V. 27. N.2. Pág. 485-497. ISSN 1980-5098. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v27n2/1980-5098-cflo-27-02-00485.pdf>. Acesso em:06/08/2020.
- [201] SILVA, E. P.; FERREIRA, P. A. A.; FURTINI-NETO, A. E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares e fosfato no desenvolvimento de mudas de cedro-australiano. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. Universidade Federal de Santa Maria. Instituto Tecnológico do Vale. Artigo. Ciência Florestal. V.27.

- N.4. Pág: 1269-1281. ISSN 1980-5098. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982017000401269&script=sci_arttext. Acesso em: 06/08/2020.
- [202] LEITE, T. S.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, R. M. O.; LEITE, M. S.; RODRIGUES, M. R. O. Produção de mudas de *enterolobium contortisiliquum* e partição de assimilados em resposta à adubação fosfatada e inoculação com fungos micorrízicos. 2017. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. UFERSA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Artigo. Ciência Florestal. V.27. N.4. Pág. 1157-1166. ISSN 1980-5098. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30293/16787>. Acesso em: 06/08/2020.
- [203] ELISA, S. Pedologia para ordenamento. 2008. Universidade de Évora. EU. Departamento de Geociências. Évora. Portugal. Disponível em: <http://home.uevora.pt/~ems/files/Anexo%20B-08.pdf>. Acesso em: 07/08/2019.
- [204] COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS, H. G.; BREFIN, M. L. M. S. e PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. 2013. Universidade Federal de Lavras. UFLA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. EMBRAPA Informática Agropecuária. Capítulo 3. Lavras. MG. Brasil. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/974201>. Acesso em: 07/08/2019.
- [205] SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2013. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária dos Solos. EMBRAPA Solos. Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento. MAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos do Rio de Janeiro. 3ª edição. 353p. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053080.pdf>. Acesso em: 07/08/2019.
- [206] SOUZA, L. A. G. Projeto Fronteira. Guia da biodiversidade de Fabaceae do Alto Rio Negro. 2012. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. IMPA. Ministério da Ciência e Tecnologia. Governo Federal. 118p. Manaus. AM. Brasil. Disponível em: https://www.inpa.gov.br/arquivos/livro_fronteras/Pesquisadores/10-Luiz-Augusto/Guia%20Fabaceae%20-%20Livro.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [207] COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS, H. G.; BREFIN, M. L. M. S. e PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. 2013. Universidade Federal de Lavras. UFLA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. EMBRAPA Informática Agropecuária. Capítulo 3. Lavras. MG. Brasil. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/974201>. Acesso em: 07/08/2019.
- [208] SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; OLIVEIRA, J. B.; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2006. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária dos Solos. EMBRAPA Solos. Universidade Federal Rural de Pernambuco. UFRPR. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. UFRRJ. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Universidade Estadual de Campinas. UNICAMP. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Semiárido. EMBRAPA Semiárido. Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento. Centro Nacional de Pesquisas de Solos do Rio de Janeiro. 2ª edição. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso em: 07/08/2019.
- [209] REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. 2006. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo_texto.pdf. Acesso em: 07/08/2019.
- [210] PEREIRA, V.; FITZPATRICK, E. A. Cambisols and related soils in north-central Portugal: their genesis and classification. 1995. Science Direct. Journal and books. Article. Volume 66. Pages 185-212. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(94\)00076-M](https://doi.org/10.1016/0016-7061(94)00076-M). Acesso em: 07/08/2019.
- [211] AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. AGEITEC. Classificação de solos. 2019. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 07/08/2019.
- [212] RIJO, M. Mecânica dos solos e fundações. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Monografia. 100p. Universidade de Évora. Évora. Portugal. Disponível em: <http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/19306/1/Mec%C3%A2nica%20solos.pdf>. Acesso em: 06/08/2020.

- [213] REINERT, J. Mecânica dos solos e fundações. 2017. Notas de Aula. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. CEFET-MG. Centro Técnico de Edificações. Belo Horizonte. MG. Brasil. Disponível em: http://www.curvelo.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/13/2018/01/Apostila-Teoria-Mec-Solos-Tecnico_Rev_1.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [214] CARVALHO, M.; GOSS, M. J.; TEIXEIRA, D. Toxicidade de manganês nos Cambissolos derivados de rochas graníticas em Portugal: causas, limitações das análises de solo e soluções possíveis. 2015. Universidade de Évora. University of Guelph. Revista de Ciências Agrárias. Pág: 518-527. Évora. Portugal. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16339/13306>. Acesso em: 06/08/2020.
- [215] TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. 2017. Manual de método de análise do solo. 3ª Edição. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Embrapa Solos. Ministério da Agricultura e do Meio Ambiente. MAPA. 573p. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087262/1/Pt1Cap10Analisegranulometrica.pdf>. Acesso em: 06/08/2020.
- [216] COUTO, H.J.B.; BARBOSA, F.L.L.; LIMA, O.A. permeabilidade de meios porosos minerais: efeito da esfericidade, granulometria e tipo de mineral. 2017. Centro Tecnológico Mineral. Universidade Federal do Rio de Janeiro. XXVII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. 9p. Rio de Janeiro. RJ. Brasil. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/images/congressos/2017/ENTMME7.pdf>. Acesso em: 06/08/2020.
- [217] SOUSA, P. F.; NAIME, J. M.; CRESTANA, S.; CAVALCANTE, A. L. B. Modelagem do avanço da frente de molhamento a partir de ensaio de infiltração. 2019. GEOCENTRO. 7p. Brasília. DF. Brasil. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/208212/1/P-Modelagem-do-avanco-da-frente-de-molhamento-a-partir-de-ensaio....pdf>. Acesso em: 06/08/2020.
- [218] MOREIRA, W. K. O.; SILVA, E. G.; LIMA, N. T.; ALVES, J. D. N.; RAYOL, B. P. Velocidade de infiltração básica da água no solo em diferentes agroecossistemas amazônicos. 2017. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. UNIOESTE. Universidade Federal Rural da Amazônia. UFRA. Universidade Federal de Viçosa. UFV. Centro Científico Conhecer. V.4. N.7. 463p. Goiânia. Goiás. Brasil. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/Agrarian%20Academy/2017a/velocidade.pdf>. Acesso em: 06/08/2020.
- [219] RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. 2010. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Monitoramento por Satélite. Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Campinas. SP. Brasil. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>. Acesso em: 07/08/2019.
- [220] PIRES, I. C. G.; FERRÃO, G. E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. 2017. Universidade Federal do Maranhão. UFMA. Revista. Ciências Agrárias e Biológicas. V.9. N.1. Pág. 01-18. São Luiz. MA. Brasil. Disponível em: <http://www.periodicoeletronicos.ufma.br/index.php/ccaatropica/article/view/5685/4110>. Acesso em: 06/08/2020.
- [221] MARQUES, R.; BELLINI, E.; GONZALEZ, C. E. F.; XAVIER, C. R. 2017. Compostagem como ferramenta de aprendizagem para promover a educação ambiental no ensino de ciências. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR. 10p. Curitiba. PR. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Claudia_Xavier/publication/330093084_COMPOSTAGEM_COMO_FERRAMENTA_DE_APRENDIZAGEM_PARA_PROMOVER_A_EDUCACAO_AMBIENTAL_NO_ENSINO_DE_CIENCIAS_COMPOSITION_AS_A_LEARNING_TOOL_TO_PROMOTE_ENVIRONMENTAL_EDUCATION_IN_SCIENCE_TEACHING/links/5c2d0044a6fdccfc70782730/COMPOSTAGEM-COMO-FERRAMENTA-DE-APRENDIZAGEM-PARA-PROMOVER-A-EDUCACAO-AMBIENTAL-NO-ENSINO-DE-CIENCIAS-COMPOSITION-AS-A-LEARNING-TOOL-TO-PROMOTE-ENVIRONMENTAL-EDUCATION-IN-SCIENCE-TEACHING.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [222] ASSOCIAÇÃO SISTEMA TERRESTRE SUSTENTÁVEL. ZERO. Novas metas da União Europeia são uma oportunidade para Portugal Concretizar a Economia Circular. 2016. Publicação em Página da Web. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://zero.org/zero-afirma-que-novas-metas-da-uniao-europeia-sao-uma-oportunidade-para-portugal-concretizar-a-economia-circular/>. Acesso em: 06/08/2020.

- [223] UNIVERSIDADE DE ÉVORA. UE. Projeto a votação incentiva separação e compostagem de resíduos orgânicos em Aveiro. 2017. Notícias. Página da web. Évora. Portugal. Disponível em: <https://www.ua.pt/pt/noticias/0/51717>. Acesso em: 06/08/2020.
- [224] GIACOMINI, D. A. Estratégias para mitigar as emissões de nh₃, n₂o e ch₄ em compostagem automatizada de dejetos líquidos de suínos. 2017. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo. Tese. Título de Doutor em Ciência do Solo. 82p. Santa Maria. Rio Grande do Sul. Brasil. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1103158/1/RosaneMartinazzoGiacominiDiego2017Tese.pdf>. Acesso em: 06/08/2020.
- [225] BOSCO, T. C. D. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos. 2017. Resultado de Pesquisas Acadêmicas. Livro. 266p. São Paulo. SP. Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Katia_Prates/publication/300418605_Crescimento_de_bacterias_heterotroficas_e_fungos_em_processos_de_compostagem_e_vermicompostagem_de_lodo_biologico_de_laticinio/links/5b14256d4585150a0a668617/Crescimento-de-bacterias-heterotroficas-e-fungos-em-processos-de-compostagem-e-vermicompostagem-de-lodo-biologico-de-laticinio.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [226] VIDILI, F. L. M. Análise da Evolução da Recolha Seletiva no Município de Valongo face às Metas do PERSU 2020+. 2020. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. FCUP. Universidade do Porto. UP. Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território. Câmara Municipal do Valongo. Dissertação. Título de Mestre em Ciências e Tecnologia do Ambiente. 85p. Porto. Portugal. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/127809>. Acesso em: 03/08/2020.
- [227] VELOSO, A. V. Aplicativo computacional para dimensionamento de um biodigestor piloto. 2011. Universidade Federal de Sergipe. UFS. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Núcleo de Engenharia Mecânica. Trabalho de Conclusão de Curso. Monografia. 89p. Título de Bacharel em Engenharia Mecânica. São Cristóvão. SE. Brasil. Disponível em: <http://files.nmc.webnode.com.br/200000076-05e98063f2/Alex%20Viana%20Veloso.pdf>. Acesso em: 07/08/2020.
- [228] FRIZZONE, J. A. Os métodos de irrigação. 2017. Universidade de São Paulo. USP. Departamento de Engenharia de Biosistemas. Curso de graduação em Engenharia Agrônoma. Notas de Aula. 32p. Piracicaba. SP. Brasil. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTO_COMPLEMENTAR_1_-_METODOS_DE_IRRIGACAO.pdf. Acesso em: 06/08/2020.
- [229] NUNES, I. S. Identificação de compostos bioativos envolvidos na sinalização entre raízes e fungos micorrízicos. 2014. Universidade de Nova Lisboa. UN. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Nova Lisboa. Tese. Título de Doutor em Química. Especialidade em Química Orgânica. 167p. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/14592/1/Nunes_2014.pdf. Acesso em: 07/08/2020.
- [230] BERUDE, M. C.; ALMEIDA, D. S.; RIVA, M. M.; CABANÉZ, P. A.; AMARAL, A. A. Micorrizas e sua importância agroecológica. 2015. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Resumo expandido. Enciclopédia Biosfera. Centro científico Conhecer. V.11. N.22. 132p. Goiânia. Goiás. Brasil. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015E/Micorrizas.pdf>. Acesso em: 07/08/2020.
- [231] GIACOMINI, L. A. Transposição de serapilheira em processo de restauração ambiental: análise de fungos endomicorrízicos no município de cabreúva. 2019. Universidade Federal de São Carlos. UFSC. Centro de Ciências e Tecnologia para Sustentabilidade. Dissertação. Título de Mestre em Sustentabilidade na Gestão Ambiental. 64p. Sorocaba. SP. Brasil. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/11652/Disserta%c3%a7%c3%a3oFinal_13_08_2019.pdf?sequence=7&isAllowed=y. Acesso em: 07/08/2020.
- [232] AGUIRRE-MEDINA, J. F.; YEEKÓN, L. M.; ZARAGOZA, S. Espinosa. Influencia de hongos endomicorrízicos en el crecimiento de *Tabebuia donnell-smithii* Rose. 2018. Universidad Autónoma de Chiapas. Artículo científico. Biofertilización en vivero. V.6. N.16. 11p. Huehuetán. Chiapas. México. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282019000100011&script=sci_arttext. Acesso em: 07/08/2020.
- [233] PÉREZ, L. A. L.; RODRÍGUEZ, R. Z.; TORRES, A. A. Micorriza arbuscular, *Mucoromycotina* y hongos septados oscuros en helechos y licófitas con distribución en México: una revisión global. 2017. Universidad Veracruzana.

- Revista de Biología Tropical. V.65. N.3. Pág. 1062- 1081. Xalapa. Veracruz. México. Disponível em: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442017000301062&script=sci_arttext. Acesso em: 07/08/2020.
- [234] PEREIRA, P. T. Importância das endomicorrizas arbusculares na sustentabilidade de pastagens biodiversas. 2018. Dossier Técnico. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária. INIAV. Vairão. Vila do Conde. Portugal. Disponível em: http://www.inia.pt/fotos/editor2/importancia_das_endomicorrizas_arbusculares.pdf. Acesso em: 07/08/2020.
- [235] SOUZA, E. L.; ANTONIOLLI, Z. I.; MACHADO, R. G.; PAZZINI, D. E.; DAHMER, S. F.; REDIN, M.; RAMIRES, M. F. Fungos ectomicorrízicos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis*. 2017. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. UERS. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. V.27. N.2. Pág. 471-484. ISSN 1980-5098. Artigo. Revista Ciência Florestal. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982017000200471&script=sci_arttext&lng=pt. Acesso em: 07/08/2020.
- [236] CAMPOS, R. F. F.; OLIVEIRA, L. P.; SCHVEITZER, B. Fitorremediação do cobre em mudas de *Pinus taeda* inoculadas com fungos ectomicorrízicos. 2017. Universidade Alto Vale do Rio do Peixe. UAVRP. Universidade Estadual de Santa Catarina. UDESC. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural. Artigo. Revista Brasileira de Geografia Física. V.10. N.3. Pág. 690-698. Florianópolis. RS. Brasil. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/viewFile/233971/27435>. Acesso em: 07/08/2020.
- [237] SÓBIOLOGIA. Morfologia de Fungos. 2020. Página da web. Brasil. Disponível em: <https://www.sobiologia.com.br/conteudos/Reinos/biofungos2.php>. Acesso em: 02/08/2020.
- [238] LIMA, A. O. S.; SCHWARTZ, G.; SILVA, A. R.; LUNZ, A. M.; MELLO, A. H.; ALBINO, U. B. Adaptabilidade de clones de eucalipto à inoculação de fungos micorrízicos em solo arenoso em São Domingos do Araguaia. 2019. Universidade Federal Rural da Amazônia. UFRA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. UNIFESSPA. Universidade Federal do Pará. UFPA. Artigo. Colloquium Agrariae. V.15. N.6. Pág. 1-10. Presidente Prudente. SP. Brasil. Disponível em: <http://revistas.unoeste.br/index.php/ca/article/view/3053/2853>. Acesso em: 06/08/2020.
- [239] ARAÚJO, F. H. V.; CRUZ, R. S.; PORTO, D. W. B.; MACHADO, C. M. M.; FRANÇA, A. C. Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants. 2020. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Research Article. V.50. 7p. Goiânia. Goiás. Brasil. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/58646/34852>. Acesso em: 07/08/2020.
- [240] LONDOÑO, D. M. M. Efeitos do milho transgênico sobre aspectos morfofisiológicos da associação micorrízica e sobre a diversidade dos fungos micorrízicos arbusculares. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. Tese. Título de Doutor em Ciências. Área de concentração de Recursos Genéticos Vegetais. 148p. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/96463>. Acesso em: 07/08/2020.
- [241] SANTOS, E. R. D. Material Complementar ao livro Sistemática Vegetal I: Fungos. 2015. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. baseado no capítulo original de Paulo Antunes Horta Junior. Livro. 46p. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: <https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/1311301/course/section/972329/Drechsler-Santos%202015%20material%20did%C3%A1tico%20fungos%20encarte%20EAD.pdf>. Acesso em: 07/08/2020.
- [242] GUZMÁN, Y. B.; ORTIZ, R. M.; ORIJEL, R. G. Caracterización morfológica y genética de los hongos ectomicorrízicos asociados a bosques de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz. 2017. Universidad Veracruzana. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Mexicana de Biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México. Pág. 41-48. Veracruz. México. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1870345317300271>. Acesso em: 07/08/2020.
- [243] SULZBACHER, M. A.; HAMANN, J. J. FRONZA, D.; JACQUES, R. J. S.; GIACHINI, A. J.; GREBENC, T.; ANTONIOLLI, Z. I. Fungos ectomicorrízicos em plantações de noqueira-pecã e o potencial da truficultura no Brasil. 2019. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. Artigo de revisão. Revista Ciência Florestal. V. 29. N.2. Pág. 975-987. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v29n2/1980-5098-cflo-29-02-975.pdf>. Acesso em: 07/08/2020.

- [244] FARIA, A. B. C.; MONTEIRO, P. H. R.; AUER, C. G.; ÂNGELO, A. C. Uso de ectomicorrizas na biorremediação florestal. 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. UTFPR. Universidade Federal do Paraná. UFPR. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Florestas. Artigo. Revista Ciências Florestais. V. 7. N.1. Pág. 21-29. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v27n1/1980-5098-cflo-27-01-00021.pdf>. Acesso em: 07/08/2020.
- [245] ALEGRIA, P. A. B. Estudo das comunidades de macrofungos em montados de sobre sujeitos a diferentes maneios. 2015. Universidade de Évora. UE. Escola de Ciências e Tecnologia. Departamento de Biologia. Dissertação. 48p. Título de Mestre em Biologia da Conservação. Évora. Portugal. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/16222>. Acesso em: 07/08/2020.
- [246] SEGOVIA, F. A. M. Aislamiento, caracterización y efecto de la inoculación de endomicorrizas orquideales sobre dos especies híbridas en el noroccidente de pichincha. 2012. Escuela Politécnica del Ejército. Departamento de Ciencias de la Vida. Carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias. 104p. Proyecto de Investigación. Título de Ingeniero Agropecuario. Sangolquí. Ecuador. Disponível em: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8718/1/T-ESPE-IASA%20I-004604.pdf>. Acesso em: 07/08/2020.
- [247] LIMA, A. O. S. Respostas de paricá e clones de eucalipto à inoculação de fungos micorrízicos e rizobactérias em área de neossolo quartzarênico em são domingos do Araguaia. Universidade Federal Rural da Amazônia. UFRA. 2018. Dissertação. Título de Mestre em Ciências Florestais. Área de concentração Manejo de Ecossistemas de Florestas Nativas e Plantadas. 46p. Belém. PA. Brasil. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/500>. Acesso em: 07/08/2020.
- [248] PORTUGAL, A.; TEIXEIRA, C.; ANASTÁCIO, D.; RIBEIRO, D.; SALINAS, F.; LOURO, G.; MARQUES, H.; GARDETE, J. Princípios de Boas Práticas Florestais. 2003. Livro. 152p. Lisboa. Portugal. Disponível em: <https://www.icnf.pt/api/file/doc/e550b62b6b44f397>. Acesso em: 29/07/2020.
- [249] OEI, P.; NIEUWENHUIJZEN, B. O cultivo de cogumelos em pequena escala. 2006. Livro. 90p. Wageningen. Holanda. Disponível em: <https://biowit.files.wordpress.com/2010/11/agromisa-ad-40-p.pdf>. Acesso em: 07/08/2020.
- [250] NIEUWENHUIJZEN, B. O cultivo de cogumelos em pequena escala. 2007. Livro. 93p. Wageningen. Holanda. Disponível em: https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/73125/1424_PDF.pdf?sequence=1. Acesso em: 07/08/2020.
- [251] SILVA, M. P. P. Anteprojeto de produção de cogumelos shiitake (*Lentinula edodes*) em modo de produção biológico. 2013. Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Dissertação. Título de Mestre em Agricultura Biológica. 64p. Viana do Castelo. Portugal. Disponível em: http://repositorio.ipv.pt/bitstream/20.500.11960/1265/1/Maria_Silva_1307.pdf. Acesso em: 07/08/2020.
- [252] OLIVEIRA, P. A. V.; CELANT, T. M. B. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos. 2004. Manual de Boas Práticas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. Projeto de controle da degradação decorrente da suinocultura. Gestão Integrada de Ativos Ambientais. Concórdia. SC. Brasil. Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/sqc/sqc_publicacoes/publicacao_n3r85f3h.pdf. Acesso em: 12/08/2020.
- [253] PAINI, V. Geração de biogás a partir da utilização de resíduos orgânicos da indústria alimentícia do ramo de candies. 2017. Universidade do Vale do Taquari. UNIVATES. Trabalho de conclusão de curso. Monografia. Título de bacharel em Engenharia Ambiental. 88p. Lajeado. RS. Brasil. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1914/1/VINICIUS%20PAINI.pdf>. Acesso em: 12/03/2020.
- [254] OLIVEIRA, M. M. Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense. 2012. Universidade Federal de Santa Maria. UFSM. Dissertação. Título de mestre em Engenharia de Processos. 119p. Santa Maria. RS. Brasil. Disponível em: http://coral.ufsm.br/ppgepro/attachments/article/125/2012-%20Matias%20Marchesan%20de%20Oliveira%2006_09_2012.pdf. Acesso em: 12/08/2020.
- [255] LUSTOSA, G. N.; MEDEIROS Í. H. B. Proposta de um biodigestor anaeróbico modificado para produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos sólidos orgânicos. 2014. Universidade de Brasília. UNB. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Trabalho de conclusão de curso. Monografia. Título de Bacharel em Engenharia Civil. Brasília. DF. Brasil. Disponível em:

- https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12346/1/2014_GleudsonNeresLustosa_IcaroHendrixBorgesdeMedeiros.pdf. Acesso em: 12/08/2020.
- [256] KRETZER, S. G.; NAGAOKA, A. K.; MOREIRA, T. E.; RIGONI, I. L.; MORAES, G.; BAUER, F. C. Produção de biogás com diferentes resíduos orgânicos de restaurante universitário. 2016. Universidade Federal de Santa Catarina. UFSC. Artigo. Revista Brasileira de Engenharia Renováveis. Florianópolis. SC. Brasil. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/download/48415/pdf>. Acesso em: 12/08/2020.
- [257] JÚNIOR, E. S. Análise da produção de biogás proveniente da mistura de biomassa da suinocultura com bagaço de cana de açúcar em diferentes granulometrias. 2017. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. UNIOESTE. Dissertação. Título de mestre em Engenharia de Energia na Agricultura. 108p. Cascavel. PR. Brasil. Disponível em: http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia_agricultura/Anlise_da_produo_de_biogs_proveniente_da_mistura_de_biomassa_da_suinocultura_com_bagaço_de_cana_de_acar_em_diferentes_granulomtricas.pdf. Acesso em: 12/08/2020.
- [258] COUTRIM, M. X. Princípios de Cromatografia. Notas de aula. 2016. Web. Disponível em: http://professor.ufop.br/sites/default/files/mccoutrim/files/qui346_cromatografia_a_gas_10a_a_12a_aula_2016-1.pdf. Acesso em: 12/08/2020.
- [259] TESSAROLO, N. S. Caracterização química de bio-óleos de pirólise convencional e catalítica utilizando técnicas analíticas de alta resolução. 2015. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ. Tese. Título de Doutor em Ciências. 143p. Rio de Janeiro. RJ. Brasil. Disponível em: <https://www.iq.ufrj.br/arquivos/2016/06/Tese-Nathalia-Spalenza-Tessarolo.pdf>. Acesso em: 12/08/2020.
- [260] FUNDÃO, N. M. Modelo de Regressão Linear: Aplicação ao estudo sobre os fatores que Influenciam o rendimento acadêmico dos alunos em Angola. 2018. Universidade da Beira Interior. Dissertação. Título de Mestre em Matemática para Professores. 108p. Covilhã. Portugal. Disponível em: https://ubibliorum.ubi.pt/bitstream/10400.6/10042/1/6087_13270.pdf. Acesso em: 12/08/2020.
- [261] GUIA DE CAMPO COGUMELOS SILVESTRES. Federação dos Produtores Florestais de Portugal. FPF. 2008. Lisboa. Portugal. Disponível em: http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/guia_de_campo_cogumelos_silvestres.pdf. Acesso em: 10/07/2019.

ANEXOS

8.1. Entidades gestoras de resíduos orgânicos

EMPRESAS GESTORAS DE RESÍDUOS	METODOLOGIAS
<i>Lipor</i>	RECICLAGEM; COMPOSTAGEM; ATERROS SANITÁRIOS; INCINERAÇÃO
<i>Suldouro</i>	RECICLAGEM; BIODIGESTÃO; ATERROS SANITÁRIOS; INCINERAÇÃO
<i>Sotecnosol</i>	RECICLAGEM; BIODIGESTÃO; CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTORES; IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS, COM PRODUÇÃO DE GEOMEMBRANAS; COGERAÇÃO
<i>Ency Energy</i>	ATERROS SANITÁRIOS; COGERAÇÃO; BIOMETANIZAÇÃO; EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DE LIXIVIADOS; SISTEMAS DE APROVEITAMENTO TÉRMICO

Anexo 1: Empresas gestoras de resíduos e suas respectivas atividades concernentes a valorização de resíduos sólidos em Portugal.

8.2. Horizontes do Solo

PERFIL	CARACTERÍSTICAS
Horizonte O	Camada mais superficial do solo, que contém predominância de restos orgânicos, como folhas, flores e raízes.
Horizonte A	Horizonte mineral escurecido pela acumulação de matéria orgânica. Tem profundidade de no máximo 10 cm, sendo, portanto, constituído de matéria orgânica e atividade biológica
Horizonte E	Horizonte de cores claras, de onde as argilas e outras partículas finas foram lixiviadas pela percolação hídrica
Horizonte B	Porção mineral do solo, com uma profundidade variante entre 10 cm e 30 cm do solo e com coloração característica, bem como estrutura
Horizonte C	Constituído por material consolidado, rochas que sofreram ação de intempéries.
Horizonte R	Horizonte consolidado (Rocha mãe)

Anexo 2: Perfis do esqueleto do solo pertinentes a camadas horizontais formadas ao longo dos anos, subdividindo-se em seções denotadas como horizontes do solo [204] [205] [207] [208] [211].

8.3. Atributos do Solo

SOLO	DEFINIÇÃO
JOVENS	Solos que apresentam uma rocha degradada sustentando uma camada de húmus
MADUROS	Solos que no decorrer de sua formação ao longo dos anos, exhibe suas seções subdivididas em 6 horizontes
IMATUROS	Denota uma fina rocha de desagregação, também denominada de rocha matriz

Anexo 3: Definições dos atributos do solo quanto a sua gênese [204] [205] [207] [208] [211].

8.4. Classificação dos Solos

NOME	CLASSIFICAÇÃO
ARGILOSSOLO	<p><i>Medianamente profundos a profundos, drenados, com horizonte B textural de cores vermelhas a amarelas e textura argilosa abaixo de um horizonte A ou E com cores mais claras e textura arenosa ou média de baixos teores de matéria orgânica.</i></p> <p><i>Argila de atividade baixa e saturação por bases alta.</i></p> <p><i>Desenvolvem-se de diversos materiais, em relevo plano a montanhoso.</i></p> <p><i>Elevado teor de argila, com ou sem decréscimo, do horizonte B para baixo no perfil.</i></p> <p><i>A transição entre os horizontes A e B é, usualmente clara, abrupta ou gradual</i></p> <p><i>Em áreas de relevo plano e suave ondulado, podem ser usados para diversas culturas, desde que sejam feitas correções da acidez e adubação, principalmente quando se tratar de solos distróficos ou álicos.</i></p> <p><i>São de fácil erosão.</i></p>

<p>CAMBISSOLO</p>	<p><i>Constituídos por material mineral, com horizonte B, heterogêneos, com suas características variando de uma área para outra.</i></p> <p><i>Altamente drenados, rasos, profundos, com cor bruna ou bruno-amarelada, de alta e baixa saturação de bases e atividade química coloidal.</i></p> <p><i>Com vistas ao horizonte B em especial, este geralmente é incipiente (Bi), com textura franco-arenosa ou mais argilosa, com teores uniformes de argila, podendo ocorrer ligeiro decréscimo ou um pequeno incremento de argila do horizonte A para o Bi, com, em alguns casos, ausência de agregados, com grãos simples ou maciços.</i></p> <p><i>Exibem uma espessura no mínimo mediana (50-100 cm de profundidade) e sem restrição de drenagem, em relevo pouco movimentado, eutróficos ou distróficos, com auto grau de potencial agrícola.</i></p> <p><i>Quando situados em planícies aluviais estão sujeitos a inundações, que se frequentes e de média a longa duração são fatores limitantes ao pleno uso agrícola desses solos.</i></p>
<p>CHERNOSSOLO</p>	<p><i>Jovens, tendo sua gênese advinda de rochas ricas em cálcio e magnésio, com minerais esmectíticos que conferem alta atividade da argila e eventual acumulação de carbonato de cálcio, promovendo reação</i></p>

	<p><i>aproximadamente neutra ou moderadamente ácidos a fortemente alcalinos, com enriquecimento em matéria orgânica.</i></p> <p><i>Horizonte A de alta saturação por bases, teores elevados de carbono orgânico e de carbonato de cálcio acima de um horizonte B ou argila de atividade alta.</i></p> <p><i>Alto potencial agrícola, em razão da alta fertilidade natural associada principalmente aos altos teores de cálcio, de magnésio e de matéria orgânica, baixa a mediana acidez e alta capacidade de troca de cátions relacionada à sua mineralogia.</i></p> <p><i>Pouco profundos a profundos, podendo apresentar suscetibilidade aos processos erosivos pela presença de horizonte B ou de horizonte com caráter argilúvico.</i></p> <p><i>Possuem boa textura, apesar de em alguns casos, exibir considerável nível de argila. Normalmente porosos, apresentando boa permeabilidade, sendo menos suscetíveis à lixiviação.</i></p>
<p><i>ESPODOSSOLO</i></p>	<p><i>Horizonte B espódico em sequência a horizonte E, abílico ou não e na sequência de um horizonte A.</i></p> <p><i>Cor do horizonte espódico, varia desde cinzenta, de tonalidade escura ou preta, até avermelhada ou amarelada.</i></p>

	<p><i>Exibem perda de compostos de alumínio com ou sem ferro em presença de húmus ácido e consequente acumulação desses constituintes em profundidade.</i></p> <p><i>Moderada a fortemente ácidos, normalmente com saturação por bases baixa (distróficos), podendo ocorrer altos teores de alumínio extraível.</i></p> <p><i>A textura é predominantemente arenosa, sendo menos comumente textura média e raramente argilosa (tendente para média ou siltosa) no horizonte B espódico.</i></p> <p><i>Pouco profundos até muito profundos. Drenagem é muito variável.</i></p> <p><i>São originários, principalmente, de materiais arenoquartzosos, sob condições de clima tropical e subtropical, em relevo plano, suave ondulado ou ondulado.</i></p> <p><i>Baixa fertilidade, com impedimento a penetração das raízes e a infiltração da água.</i></p> <p><i>Não exibem aptidão agrícola, sendo indicados para áreas de conservação ambiental, ou na utilização para pastagens, ou em culturas de coco.</i></p>
GLEISSOLO	<p><i>Minerais, hidromórficos, desenvolvidos de sedimentos recentes não consolidados, de</i></p>

constituição argilosa, argilo-arenosa e arenosa, do período do Holoceno.

Podem ocorrer com algum acúmulo de matéria orgânica, porém, com o horizonte glei iniciando dentro de 50 cm da superfície, ou entre 50 e 125 cm, desde que precedido por horizontes com presença de mosqueados e cores de redução.

Mal a muito mal drenados e que possuam características do excesso de umidade permanente ou temporário, devido a presença do lençol freático próximo à superfície, durante um determinado período do ano.

Horizonte de coloração acinzentada, cinzenta, com mosqueados amarelados ou avermelhados, oriundos da oxidação do ferro na matriz do solo, em consequência dos fenômenos de oxi-redução.

Diversificados em suas características físicas, químicas e morfológicas, devido às circunstâncias em que são formados, de aporte de sedimentos e sob condição hidromórfica.

Podem ser eutróficos, distróficos, com argilas de atividade alta ou baixa, acidez moderada a forte.

Limitações ao uso agrícola, devido à presença de lençol freático e ao risco de inundações ou alagamentos.

	<p>Fertilidade natural baixa à média, limitação moderada a forte ao uso de máquinas agrícolas, em condições naturais, devido o excesso d'água.</p> <p>Após drenados e corrigidas as deficiências químicas, esses solos prestam-se principalmente para pastagens, culturas anuais diversas, cana-de-açúcar, bananicultura e olericultura, entre outras.</p>
<p>LATOSSOLO</p>	<p>Possui em sua composição Fe_2O_3 e Al_2O_3.</p> <p>Solos minerais, não-hidromórficos, profundos, com horizontes B muito espesso com sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados.</p> <p>As cores variam de vermelhas muito escuras a amareladas, geralmente escuras no A, vivas no B e mais claras no C.</p> <p>A sílica (SiO_2) e as bases trocáveis são removidas do sistema, levando ao enriquecimento com óxidos de ferro e de alumínio que são agentes agregantes, dando à massa do solo aspecto maciço poroso.</p> <p>Estrutura granular muito pequena, macios quando secos e altamente friáveis quando úmidos.</p> <p>Teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%.</p> <p>Alta permeabilidade à água, com tendência a formar crostas</p>

superficiais, possivelmente, devido à flocculação das argilas que passam a comportar-se funcionalmente como silte e areia fina.

Intemperizados, com pequena reserva de nutrientes para as plantas, representados normalmente por sua baixa a média capacidade de troca de cátions.

Distróficos e ácidos, com pH entre 4,0 e 5,5 e teores de fósforo disponível extremamente baixos, quase sempre inferiores a 1 mg/dm³. Em geral, são solos com grandes problemas de fertilidade.

A fração argila é composta por caulinita, óxidos de ferro e óxidos de alumínio.

Utilizados em culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento.

Normalmente, estão situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%, o que facilita a mecanização.

São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo. Apesar do alto potencial para agropecuária, parte de sua área deve ser mantida com reserva para proteção da biodiversidade desses ambientes.

Um fator limitante é a baixa fertilidade desses solos. Contudo, com

	<p><i>aplicações adequadas de corretivos e fertilizantes, aliadas à época propícia de plantio de cultivares adaptadas, obtêm-se boas produções.</i></p> <p><i>Suscetíveis à erosão, requerendo tratos conservacionistas e manejo cuidadoso. A grande percolação de água no perfil desses solos, associada à baixa CTC.</i></p> <p><i>A baixa CTC desses solos pode ser melhorada, adotando-se práticas de manejo que promovam a elevação dos teores de matéria orgânica do solo.</i></p>
<p>LUVISSOLO</p>	<p><i>Imperfeitamente drenados, sendo normalmente pouco profundos (60 a 120cm), com nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt, devido ao contraste de textura, cor e/ou estrutura entre eles.</i></p> <p><i>Solos ácidos a ligeiramente alcalinos, com teores de alumínio extraível baixos ou nulos e presença, em quantidade variável mas expressiva, de argilominerais do tipo 2:1 indicando atividade alta da argila.</i></p> <p><i>Podem ou não apresentar pedregosidade na parte superficial e/ou caráter solódico ou sódico, na parte subsuperficial.</i></p> <p><i>São identificados normalmente nas áreas de clima seco (déficit hídrico) em temperaturas altas e baixas, estando normalmente associados às</i></p>

	<p>áreas de relevos movimentados, com fertilidade natural (eutróficos), conferindo potencial para o uso agrícola, com boa permeabilidade.</p> <p>Nos relevos declives, os de menor profundidade apresentam limitações para o uso agrícola relacionadas à restrição a mecanização e suscetibilidade aos processos erosivos.</p>
<p>NEOSSOLO</p>	<p>Solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso</p> <p>Exibem alta (eutróficos) ou baixa (distróficos) saturação por bases, acidez e altos teores de alumínio e de sódio. Variam de solos rasos até profundos e de baixa a alta permeabilidade.</p> <p>Variam desde sedimentos aluviais até materiais provenientes da decomposição de rochas do cristalino (pré-cambriano).</p> <p>Apesar de possuírem potencial agrícola, os solos de baixa fertilidade natural (distróficos) são ácidos e dependentes do uso de adubação e de calagem para correção da acidez.</p> <p>Textura arenosa, com restrição causada pela baixa retenção de umidade.</p> <p>O uso destes solos deve ser restringido quando estiverem próximos aos cursos d'água, por ser</p>

	<p>área de preservação das matas ciliares.</p> <p>Em relevos declives, são rasos com fortes limitações para o uso agrícola relacionadas à restrição a mecanização e à forte suscetibilidade aos processos erosivos.</p>
<p>NITOSSOLO</p>	<p>Constituídos por material mineral, não hidromórfico, com horizonte B nítico em sequência a qualquer tipo de horizonte A.</p> <p>Apresentam baixa atividade da argila, com caráter alítico ou não, imediatamente abaixo do horizonte A ou dentro dos primeiros 50 cm do horizonte B.</p> <p>Relacionado ao material de origem, sendo originada de rochas básicas e rochas calcáreas, podendo, também, estar associada a rochas intermediárias.</p> <p>São profundos, bem drenados, de coloração variando de vermelha a brunada.</p> <p>Moderadamente ácidos a ácidos, apresentando saturação por base alta ou baixa com composição caulínico-oxídica implicando na presença de argila de atividade baixa.</p> <p>Podem exibir alta (eutróficos) ou baixa (distróficos) fertilidade natural, acidez ligeiramente elevada e teores variáveis de alumínio.</p>

	<p><i>Em áreas mais planas, de maior fertilidade e de maior profundidade, apresentam alto potencial para o uso agrícola.</i></p> <p><i>Contudo, em ambientes de relevos mais declivosos, apresentam alguma limitação para uso agrícola relacionada à restrição a mecanização e à susceptibilidade à erosão.</i></p>
<p>ORGANOSSOLO</p>	<p><i>Coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada e, com grande proporção de resíduos vegetais em grau variado de decomposição, que podem se sobrepor ou estarem entremeados por horizontes ou camadas minerais de espessuras variáveis.</i></p> <p><i>Fortemente ácidos, apresentando alta capacidade de troca de cátions e baixa saturação por bases (distróficos), apresentando, por vezes, teor de alumínio elevado.</i></p> <p><i>Podem apresentar horizonte sulfúrico, materiais sulfídricos, caráter sálico, propriedade sódica ou solódica, podendo estar recobertos por deposição pouco espessa de uma camada de material mineral</i></p> <p><i>Associados a ambientes mal a muito mal drenados, como áreas baixas de várzeas, depressões e locais de surgentes, sob vegetação hidrófila ou higrófila, quer do tipo campestre ou florestal, ou a ambientes úmidos de</i></p>

	<p><i>altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso.</i></p> <p><i>Apresentam limitações ou mesmo restrições ao uso agrícola, associadas à presença de teores elevados de materiais sulfídricos, de sais e de enxofre responsáveis por toxidez à maioria das culturas.</i></p> <p><i>Os solos de média a alta saturação por bases (eutróficos), indicam fertilidade natural mais alta, o que aumenta o potencial de uso agrícola destes solos.</i></p>
<p>PLANOSSOLO</p>	<p><i>Ocorrem tipicamente em áreas de cotas baixas, planas a suave onduladas. São, pouco profundos, com horizonte superficial de cores claras e textura arenosa ou média (leve), seguido de um horizonte B plânico,, de textura média, argilosa ou muito argilosa, adensado, pouco permeável, com cores de redução, decorrente de drenagem imperfeita, e responsável pela formação de lençol suspenso temporário.</i></p> <p><i>Geralmente, apresentam alta CTC, elevada saturação por bases e sorção de Na.</i></p> <p><i>Possuem saturação por bases e também grandes quantidades de minerais primários facilmente intemperizáveis, o que lhes confere</i></p>

	<p>grande capacidade de fornecer nutrientes às plantas.</p> <p>Devido ao relevo plano ou suave ondulado não existe empecilho à motomecanização agrícola, exceto quando as áreas com estes solos se encontram encharcadas.</p>
<p>PINTOSSOLO</p>	<p>Segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação. São fortemente ácidos, com saturação por bases baixa (distróficos) ou alta (eutróficos), predominando os de baixa saturação. Verificam-se também solos com propriedades solódica e sódica.</p> <p>Restrição à percolação da água, imperfeitamente ou mal drenados. Horizontes concrecionário, possuem melhor drenagem e ocupam posições mais elevadas.</p> <p>As principais limitações desta classe de solo para o uso agrícola estão relacionadas à baixa fertilidade natural, acidez elevada e drenagem.</p>
<p>VERTISSOLO</p>	<p>São solos minerais não hidromórficos ou com séria restrição temporária à percolação de água.</p> <p>Têm como feições morfológicas características a presença de fendas de retração largas e profundas que se abrem desde o topo do perfil, nos períodos secos, superfícies de fricção em seções mais internas do perfil portadoras de unidades estruturais</p>

	<p>grandes e inclinadas em relação ao prumo do perfil.</p> <p>Devido aos elevados valores de soma de bases e de capacidade de troca de cátions, associados à presença frequente de grandes quantidades de minerais facilmente intemperizáveis, apresentam elevado potencial nutricional para as plantas.</p> <p>Textura muito argilosa, com pegajosidade e a alta dureza. Exibem limitação ao seu uso, sendo pouco permeáveis e com grandes restrições ao uso agrícola, devido à elevação do lençol freático nas regiões onde se encontram.</p>
--	--

Anexo 4: Classificação dos solos em 13 divisões, de acordo com a Agência Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) [204] [205] [207] [208] [211].

8.5. Compostagem e suas Etapas Biológicas

<i>ETAPAS</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Mesofílica	Bactérias mesófilas proliferam-se na matéria orgânica, fazendo a decomposição destes respectivos resíduos, metabolizando as moléculas simples, com temperaturas variando entre 40°C, durante um período de 15 dias.
Termofílica	Se estendendo por um considerável período de tempo (≤ 2 meses), com bactérias termofílicas sobrevivendo em ambientes com temperaturas entre 65°C a 70°C, auxiliando na extinção de agentes patógenos. Nesta fase deve haver um maior revolvimento da matéria orgânica, de forma a manter o ambiente aeróbio e promover sua elevação.
Maturação	Nesta fase há redução da atividade microbiana, da temperatura (= temperatura ambiente) e acidez, com estabilização do rejeito (composto maturado), o qual é estável rico em nutrientes e minerais. Através da decomposição microbiológica realizada nesta etapa, a matéria orgânica é convertida em húmus, livre de toxidade, metais pesados e patógenos.

Anexo 5: Processo Biológico de valorização da Matéria Orgânica ocasionada pela metodologia da reciclagem [162] [163] [220] [221] [226].

8.6. Perspectivas da Compostagem

RESÍDUOS PERMITIDOS	RESÍDUOS NÃO PERMITIDOS
<p>Resíduos de alimentos em geral, como talos e casca de verduras e frutas (salvo cítricas), cascas de ovo e borra de café (inibe o surgimento de formigas). Tais alimentos são excelente fonte de nitrogênio.</p>	<p>Frutas cítricas; arroz cozido; laticínios; carne; nozes pretas; derivados de trigo; gorduras; alho e cebola; papel; fezes de cães e gatos; serragem envernizada ou quimicamente tratada; carvão vegetal e plantas adoecidas.</p>
<p>A alimentos assados e cozidos, contribuem a uma boa compostagem, desde que se apresentem em pequena quantidade, misturado a pó de serragem, em razão da sua possível umidade, na proteção a fatores abióticos, na presença de carbono e na prevenção a maus odores que podem ser proporcionados pelos resíduos.</p>	

Anexo 6: Resíduos permitidos ou não a uma metodologia de compostagem [162] [163] [220] [221] [226].

8.7. Tipos de espécies de fungos

Espécies de Fungos	Principais Características
<u><i>Boletus edulis</i></u>	<i>Nativo da Europa, é apreciado pelo sabor, podendo ser encontrado em vários pratos culinários</i>
<u><i>Cantharellus cibarius</i></u>	<i>É um dos melhores e mais facilmente reconhecíveis cogumelos, sendo encontrado na Ásia, Europa, América do Norte e Austrália.</i>
<u><i>Cantharellus tubaeformis</i></u>	<i>É comestível, no entanto tem uma menor qualidade que o <i>Cantharellus lutescens</i>.</i>
<i>Clitocybe nuda</i>	<i>Nativo da Europa e Norte da América. É um cogumelo altamente consumido, embora exista discussões quanto a sua comestibilidade.</i>
<u><i>Cortinarius caperatus</i></u>	<i>Natural da Europa e da América do Norte e embora de sabor suave e altamente considerado, os cogumelos são frequentemente infestados de vermes</i>
<u><i>Craterellus cornucopioides</i></u>	<i>Comestível apesar do seu aspecto. Ideal para acompanhar com guizados, sendo bom para secar e desidratar, sendo por</i>

	<i>muitas vezes convertido em pó para utilizar nos guizados.</i>
<i><u>Grifola frondosa</u></i>	<i>Nativo do Japão, é comestível, com comercialização crescente, com sabor delicado e textura crocante, leve aroma madeirado e comuns na culinária japonesa. É um alimento nutritivo, rico em proteínas, vitamina B1 e B2, niacina, vitaminas C e D e também magnésio, ferro, cálcio e fósforo. Auxilia no controle de pressão arterial, diabetes, propriedades hepáticas, sistema imunológico, ajuda na inibição do desenvolvimento de tumores, vírus e bactérias.</i>
<i>Shiitake</i>	<i>Nativo do Leste da Ásia, é comestível, nutritivo, rico em proteínas, com nove aminoácidos essenciais, possuindo substâncias com propriedades medicinais para o tratamento e controle de pressão arterial, redução do nível de colesterol, fortalecimento do sistema imunológico e inibição do desenvolvimento de tumores, vírus e bactérias.</i>
<i><u>Gyromitra esculenta</u></i>	<i>Nativo da Europa e América do Norte. Apesar de potencialmente</i>

	<p><i>fatal se ingerido cru, é um petisco popular na Escandinávia, Europa de Leste, e na região dos Grandes Lagos da América do Norte. Apesar de popular em alguns distritos dos Pireneus orientais, a sua venda é proibida na Espanha. Pode ser vendido fresco na Finlândia, mas tem de ser acompanhado de avisos e instruções sobre a sua correta preparação.</i></p> <p><i>Na culinária da Finlândia é consumido em omeletes, sopas ou salteado.</i></p> <p><i>Embora seja, em geral, parcialmente cozinhado antes de ser preparado, evidências recentes sugerem que mesmo este procedimento pode não tornar o cogumelo inteiramente seguro.</i></p> <p><i>Quando consumido, o agente ativo principal é a giromitrina e quando hidrolisada forma-se um composto tóxico chamado monometilidrazina, afetando o fígado, sistema nervoso central e rins.</i></p>
<p><i>Hericuim erinaceus</i></p>	<p><i>É um cogumelo comestível e medicinal,</i></p>

	<p><i>pertencente ao grupo de fungos . Nativo da América do Norte , Europa e Ásia. Excelente para prevenção do Alzheimer, demência, depressão, ansiedade, doença de Parkinson, esclerose múltipla e para melhorar a função mental, cognitiva e a memória. É também consumido em forma de pó para a inflamação a longo prazo do revestimento do estômago (gastrite atrófica crônica), úlceras do estômago, infecção por Helicobacter pylori, diabetes, cancro, colesterol elevado e perda de peso, além de reduzir as neuropatias periféricas (fraqueza, dormência, insensibilidade e dor, geralmente nas mãos e pés)</i></p>
<p><i>Hydnum repandum</i></p>	<p><i>Nativo da Europa, Ásia e oeste da América do Norte, com um sabor doce de nozes e com uma textura crocante. Podem ser cozidos em conserva , fervendo em leite, caldo e refogados , criando uma textura macia e carnuda e um sabor suave. Seu tecido absorve os líquidos e assume os sabores dos ingredientes adicionados.</i></p>

	<p>Quando cozido, sua textura firme permite que este se torne adequado para congelamento. Espécimes mais antigas podem ter um sabor amargo, mas a fervura remove o amargor.</p>
<p><i>Lactarius deliciosus</i></p>	<p>Nativo da Europa e da América do Norte e largamente colhido em partes de Portugal e Espanha e muito utilizado na culinária da Catalunha e da Provença. O consumo desta espécie pode colorar a urina de laranja/vermelho.</p>
<p><i>Morchella</i></p>	<p>Comestível e muito apreciado, principalmente na culinária Francesa. Não há registro de sua gênese, mas prolifera-se rapidamente em regiões onde houveram queimadas, apesar de se desconhecer o motivo de tal conhecimento. Em regiões onde não ocorreram incêndios, estas espécies se proliferam, mas em menores tamanhos.</p>
<p><i>Tricholoma matsutake</i></p>	<p>Nativo da Europa, Ásia e América do Norte. Muito valorizado pelos Japoneses, por seu odor apimentado. Seu crescimento ocorre debaixo de árvores,</p>

	formando uma relação simbiótica com as raízes.
<i>Tuber borchii</i>	Consiste em uma trufa comestível, com excelentes qualidades culinárias, coletado do inverno a primavera, nativa da Europa, da Finlândia a Sicília, da Irlanda a Hungria, a Polônia. Pode viver associado a uma diversa gama de espécies arbóreas, com elevada adaptabilidade ecológica e de baixa especificidade a planta hospedeira.
<i>Tuber brumale</i>	Trufa originária do sul da Europa, com odor forte, variável, de gosto forte e desagradável.
<i>Tuber indicum</i>	Consiste em uma trufa pertencente as províncias chinesas, odor fraco, semelhante a um tubérculo, com sabor fraco e emborrachado.
<i>Tuber macrosporum</i>	Também chamado de trufa preta lisa, nativo da Europa e Itália Central, comestível, com cheiro intenso de alho, sendo hospedeira de Plantas como álamos, avelã, tília e carvalhos.
<i>Tuber mesentericum</i>	Encontrado a beira do Mar Adriático, Itália e na região

	<p>francesa do Drome. Seu crescimento ocorre em uma relação de simbiose entre o micélio e as raízes de árvores. Exibem inigualável aroma, com intenso sabor dependendo da espessura de seu corte. Geralmente são combinadas com massas, risotos e ovo frito.</p>
<i>Tuber uncinatum</i>	<p>Nativo da Europa, com odor de intensidade média, as vezes fenólico e desagradável quando muito maduro, com gosto de intensidade média, mas com forte sabor.</p>
<i>Amanita caesarea</i>	<p>Comestível e nativo da Europa do Sul, com sabor doce e tamanho pequeno, devendo ser colhido no momento em que se encontra seco.</p>
<i>Armillaria mellea</i>	<p>Fungo Parasita que vivem em árvores e arbustos lenhosos, com vida longa. Como patógeno florestal, pode ser destrutivo e responsável pela podridão branca das florestas. Não há uma tradição culinária com esta espécie, no entanto consta que se coma em outros</p>

	<i>países europeus, os chapéus jovens podem-se comer se forem cozidos previamente. É uma espécie parasita que produz danos irreparáveis nas árvores e acaba por comportar-se como saprófita.</i>
<i>Boletus badius</i>	<i>Apesar de comestível, não chega a ser considerado de excelência culinária. Nativo da Europa e do Norte da América.</i>
<i>Boletus elegans</i>	<i>Cogumelo comestível, que cresce no solo de florestas mistas e vive em simbiose, sem consistência e nem sabor, quando retirada a cutícula viscosa, a qual pode ocasionar problemas intestinais</i>
<i>Chroogomphus rutilus</i>	<i>Nativo da Europa e Norte da América, comestível, que vivem em associação com pinheiros e pequenos grupos em determinadas épocas do ano.</i>
<i>Calvatia gigantea</i>	<i>Espécies presentes em áreas temperadas ao redor do mundo, comestível e presente sobre ervas de pradaria e zonas de pastagem, de forma solitária ou em pequenos grupos.</i>

<p><i>Coprinus comatus</i></p>	<p>Encontrado nas margens dos caminhos, lixeiras, lugares nitrogenados e onde se tenha removido recentemente terra. É comestível, de sabor agradável e textura delicada, só colhida se o exemplar estiver totalmente branco</p>
<p><i>Cortinarius varicolor</i></p>	<p>Encontrados em solos de calcário, em florestas decíduas ou coníferas. Apesar de poder ser consumido, sua qualidade é escassa e pode ser confundido com outras espécies semelhantes de caráter tóxico.</p>
<p><i>Fistulina hepatica</i></p>	<p>Em associação com a madeira de árvores vivas dos géneros Quercus e Casatanea, sua localização é frequente, mas não excessiva. Único no seu género e comestível, mas com um valor culinário limitado, pois pode consumir apenas exemplares jovens, cortados em pequenas fatias para saladas ou bem cozinhados.</p>
<p><i>Gymnospilus spectabilis</i></p>	<p>Aparece sobre troncos de árvores latifoliadas e coníferas, com substâncias alucinogênicas.</p>

	Possui odor suave de nabo e sabor amargo
<i>Hygroghorus chrysodon</i>	Nativo da América do Norte, Com odor e gosto não distintivo. Cresce sozinho, disperso ou agregado e possui na superfície da tampa, haste ou carne, Hidróxido de Potássio.
<i>Hygrocybe sp</i>	São espécies comestíveis, nativas da América do Norte e Europa, são encontrados tipicamente em bosques, característicos de pastagens antigas e não melhoradas, as quais são um habitat em declínio, fazendo com que muitas espécies se preocupem com a conservação. Fazem associação simbiótica com as raízes das plantas superiores ou musgos.
<i>Laccaria fraterna</i>	Nativa do Hemisfério Sul, com odor levemente terroso, mas não distintivo, gosto leve, mas desagradável. Associado a Acácias.
<i>Laccaria laccata</i>	Espécie de cogumelo comestível, inodoro e encontrado em toda América do Norte e na Europa

<p><i>Lactarius salmonicolor</i></p>	<p>Devido a sua acrimônia, seu valor gastronômico é menor em relação as outras espécies de Lactários. Encontrados em florestas coníferas e florestas mistas da América do Norte e Europa.</p>
<p><i>Lactarius subdulcis</i></p>	<p>Encontrado na Europa e na América do Norte, possui um “leite” abundante e saboroso. É considerado um cogumelo comestível, mas não muito utilizado na culinária, uma vez que seu sabor não é tão apreciável e pode ser encontrado ao mesmo tempo que outras espécies de valor gastronômico mais elevado.</p>
<p><i>Lactarius volemus</i></p>	<p>Encontrado no Hemisfério Norte, de clima temperado da Europa, América do Norte, regiões subtropicais e tropicais da Ásia e América Central. Comestível, com peculiar odor de peixe, mas com sabor inalterado.</p>
<p><i>Laetiporous sulphureus</i></p>	<p>Nativo da Europa e da América do Norte. É O fungo causa podridão cúbica marrom do cerne nas raízes, na base da árvore e no caule.</p>

	<p>Devido ao seu sabor, é denominado de poliporo de frango e é altamente considerado na gastronomia Alemã e Norte Americana.</p> <p>Os espécimes jovens são comestíveis se exsudarem grandes quantidades de líquido aquoso claro a amarelo pálido.</p> <p>O cogumelo não deve ser comido cru, devido a efeitos alérgicos que este pode causar a saúde.</p>
<p><i>Leccinum aurantiacum</i></p>	<p>Nativa da Europa, América do Norte e Ásia. Comestível, com sua carne ficando escura ao cozinhar. Também são alvo de vermes.</p> <p>Em razão de envenenamentos e à dificuldade em identificação, podem vir a ser consideradas por alguns como possivelmente não seguras de se comer.</p> <p>Precisa ser cozida para não ocasionar vômitos ou outros efeitos negativos.</p>
<p><i>Leccinum scabrum</i></p>	<p>Nativo da Europa, Himalaia e América do Norte, sendo comestível e podendo ser conservado em salmoura ou vinagre.</p> <p>Pode ser usado em pratos com</p>

	<p>cogumelos mistos, fritos e cozidos a Vapor.</p> <p>São muito utilizados na culinária finlandesa.</p>
<p><i>Leccinum variicolor</i></p>	<p>Nativo da Grã-Bretanha, Irlanda e Europa Ocidental sendo comestível, podendo ser acompanhado em pratos de cogumelos mistos</p>
<p><i>Lepiota procera</i></p>	<p>Nativo de regiões temperadas, comestível e muito procurado pela culinária europeia, devido ao seu grande tamanho, frequência sazonal e versatilidade na cozinha.</p> <p>Tal espécie não se deve comida cru, por ser ligeiramente tóxico. Geralmente são refogados em manteiga derretida ou preparado de forma semelhante a uma costeleta.</p> <p>Em muitos casos, é feito através de ovo e pão ralado e depois frito em uma panela com pouco óleo ou manteiga e servido com pão branco, fazendo uma deliciosa refeição durante o verão e início do outono.</p>
<p><i>Lepsita sordida</i></p>	<p>Encontrado somente no Hemisfério Norte, comestível, muito utilizado pela gastronomia</p>

	em festas e jantares e de fácil preparo.
<i>Lentinus velutinus</i>	É comestível e utilizado na gastronomia da América e Europa em diversas receitas.
<i>Macrolepiota procera</i>	Encontrado no sul da Europa, presente em inúmeras culinárias, desde grelhados com um fio de azeite, até exigentes arrozes e guisados.
<i>Oudemansiella canarii</i>	Cogumelo comestível, encontrado na América, Sudeste Asiático e na Austrália.
<i>Polyporus squamosus</i>	Encontrado na América do Norte, Austrália, Ásia e Europa. Para muitos não é reconhecido como cogumelo comestível, exceto se as espécies forem Jovens, cortados em pequenos pedaços e cozinhados em lume brando. Algumas regiões apreciam o papel grosso e rígido que pode ser produzido através desta espécie. O odor característico deste cogumelo se assemelha a de uma casca de melancia.
<i>Polyporus mylittae</i>	Esta espécie de cogumelo pode ser utilizada para fins medicinais

	<p>e culinários. Muito utilizada na medicina tradicional chinesa como anti-helmíntico, mas também está presente na culinária Australiana. Tem grande poder anti-inflamatório, que pode ser usado na medicina animal e humana.</p>
<p><i>Ramariaceae</i></p>	<p>Encontrado no Chile e nas Matas de Eucalipto do Rio Grande do Sul. É considerado um cogumelo comestível, e faz parte da culinária tradicional dos imigrantes da serra gaúcha.</p>
<p><i>Rhizopogon luteolus</i></p>	<p>Consiste em um fungo ectomicorrízico, usado como inoculante do solo na agricultura e horticultura. Auxilia no melhoramento contínuo do crescimento das árvores.</p> <p>Fazem simbiose com determinadas espécies arbóreas, como pinheiros, sendo também dieta de pequenos mamíferos, tornando estes dispersores do fungo. São espécies de longa duração, podendo estar presentes nas raízes do estabelecimento de plântulas após perturbação com fogo ou extração de madeira.</p> <p>Alguns autores a consideram</p>

	<p>comestíveis e são altamente valorizadas em algumas regiões, mas outros não a recomendam como tal.</p>
<p><i>Russula</i></p>	<p>Encontradas em diversas regiões ao redor do globo, são grandes, com cor exata do pó do esporo, com distintos sabores, como suave, amargo e picante e possui reação a sulfato de ferro, formalina e outros compostos. Deve-se ficar atento as espécies tóxicas, uma vez que as mesmas também possuem um sabor picante e suave.</p>
<p><i>Sparassis crispa</i></p>	<p>Encontrado em pinheiros e coníferas e bastante comum na Grã-Bretanha. Comestível, quando jovem e fresco, embora haja dificuldade em sua limpeza.</p>
<p><i>Suillus bovinus</i></p>	<p>Nativo de regiões da Europa e da Ásia. Foi introduzido na América do Norte e na Austrália. Fazem associações ectomicorrízicas simbióticas, com árvores vivas, envolvendo-se a raízes subterrâneas. Tem sabor suave e comestível, embora não seja altamente considerado na culinária</p>

	<p>mundial. Quando cozido, libera um líquido, o qual, pode ser coletado ou coado, para fins de preparar um molho. Seu sabor é mais intenso após a secagem.</p> <p>Espécies mais antigas e emborrachadas, não são consideradas comestíveis.</p> <p>Durante o cultivo, espécies de moscas podem usar seu corpo como abrigo.</p>
<i>Suillus granulatus</i>	<p>Cogumelo comestível, que vivem em associação ectomicorrízica simbiótica com espécies de pinheiros.</p>
<i>Suillus Luteus</i>	<p>Nativos da Eurásia, das Ilhas Britânicas à Coreia. Introduzido na América do Sul, África do Sul, Austrália e Nova Zelândia.</p> <p>Comestível, usualmente utilizado em sopas, ensopados ou pratos fritos.</p> <p>Fazem associação ectomicorrízica simbiótica com árvores vivas.</p>
<i>Suillus tomentosus</i>	<p>Pode ser encontrado nas Montanhas de Idaho e no Nordeste do Pacífico.</p> <p>Comestível, mas com sabor ácido, mesmo após o cozimento, pouco suave, odor de amêndoas</p>

	<p>e algumas espécies, de coloração azul podem ser venenosas.</p> <p>Esta espécie é conhecida por causar, quando não preparada corretamente ou não identificada de maneira adequada, problemas gástricos, diarreia e mesmo vômitos.</p>
<p><i>Tricholoma terreum</i></p>	<p>Encontrado nas florestas coníferas da Europa, sendo introduzido na Austrália.</p> <p>Considerado comestível, com sabor suave, de grande prestígio na culinária mundial, descrito como “bom alimento”, principalmente na França.</p> <p>Deve-se tomar cuidado ao diferencia-lo dos Tricomas cinzentos, uma vez que estes são tóxicos.</p>
<p><i>Volvariella sp.</i></p>	<p>Encontrados nas Filipinas e no Sudeste da Ásia. Conhecido como “Cogumelo de Palha”, cultivado em palha de arroz.</p> <p>Corresponde a 16% dos cogumelos cultivados em todo o mundo.</p> <p>Entretanto, facilmente confundido com o “Cogumelo da Morte” (<i>Amanita phalloides</i>), devido as semelhanças na</p>

	<p>aparência. Muito comum na culinária asiática.</p>
<p><i>Amanita muscaria</i></p>	<p>Encontrado na Europa e utilizado como inseticida quando aspergido no leite. Importante na Farmacologia, uma vez que o agente ativo é um alucinógeno, que liga a aceptores de acetilcolina muscarínicos, levando a excitação de neurônios que ostentam estes receptores. Também podem ser agentes tóxicos, gerando descarbonificação e outros efeitos negativos a saúde humana.</p> <p>Dependendo do habitat e da quantidade ingerida por peso corporal, pode ocasionar náuseas, de espasmos a sonolência, sinais de intoxicação colinérgica, distorções auditivas e visuais, alterações de humor, euforia, relaxamento, ataxia e perda de equilíbrio.</p> <p>Em casos mais graves, ainda pode gerar delírio, confusão, alucinações, depressão do sistema nervoso central, convulsões e coma.</p> <p>Entretanto, apesar de todos estes efeitos negativos a saúde</p>

	<p>humana, esta espécie pode ser utilizada como um produto de degradação do ácido ibotênico, por radiação ultravioleta e bioacumuladores eficazes de Vanádio. Contudo, sua importância biológica nesse processo de acumulação, ainda é desconhecido.</p>
<p><i>Coprinopsis atramentaria</i></p>	<p>Comestível, mas venenoso quando combinado com álcool e por tanto é denominado como a “Maldição de Tippler”. Encontrado nas regiões da Europa e América do Norte.</p>
<p><i>Verpa bohemica</i></p>	<p>Encontrado em solos de bosques, muitas vezes enterrados a detritos vegetais. É comestível, mas não recomendando devido a sua possível toxicidade. Entretanto, estudos apontam que esta mesma toxicidade só ocorre se ingerido em grandes quantidades, gerando transtorno gastrointestinal e falta de coordenação motora.</p>
<p><i>Ganoderma</i></p>	<p>Cresce nas florestas setentrionais e no Canadá. Exibe atividades antitumorais, imunomoduladoras e</p>

	<p><i>imunoterapêuticas, inibi agregação de plaquetas, e abaixa a pressão arterial, colesterol e glicemia. Apresenta efeitos antineoplásicos contra câncer e previne metástases. Fortalece o fígado contra danos provocados por vírus e outros agentes tóxicos, prevenindo doenças hepáticas. Inibem a atividade da 5-alfa redutase na biossíntese de di-hidrotestosterona. Estudos demonstram atividades antibacteriana e antiviral, consoante ao Influenzavirus e na estomatite vesicular.</i></p>
<p><i>Trametes versicolor</i></p>	<p><i>Cogumelo medicinal, muito utilizado na medicina tradicional chinesa no combate ao a cânceres, mas há divergências quanto à sua eficiência para tal finalidade. Encontrado na China, Japão, América do Norte e em vários países da Europa.</i></p>

Anexo 7: Espécies de fungos e suas principais características referente sua importância a saúde, economia e ao ambiente diante de uma sociedade [261].

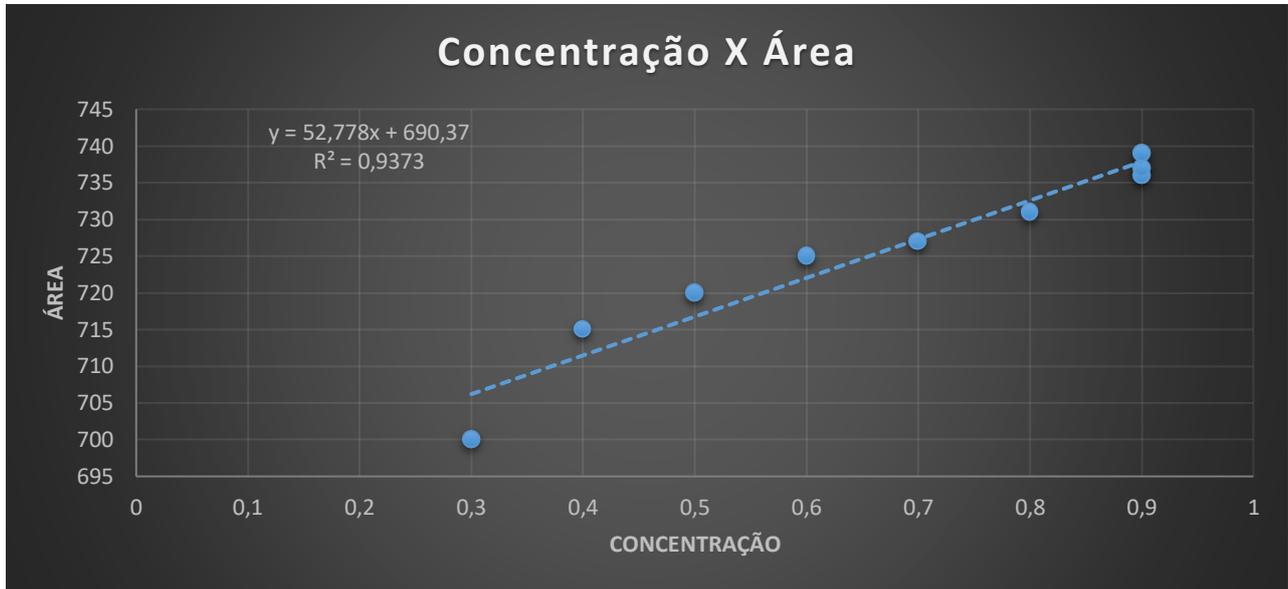
8.8. Biodigestão efetuada no Brasil: Condições e Panoramas

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS PARA PROMOÇÃO DE UM BIODIGESTOR									
VOLUME TOTAL DE BIOGÁS PRODUZIDO POR ROTAÇÃO					95	mLGás/Rotação	pH		
Dia	Data	Tempo	Rotações/Dia	mL/dia	mL/h		Dia	Data	pH
Quarta-Feira	2/8	10:00	124	11780	491		Quarta-Feira	2/8	6,5
Quinta-Feira	3/8	10:00	189	17955	748		Quinta-Feira	3/8	6,6
Sexta-Feira	4/8	08:50	153	14535	606		Sexta-Feira	4/8	6,9
Sábado	5/8	-	-	-	-		Sábado	5/8	-
Domingo	6/8	-	-	-	-		Domingo	6/8	-
Segunda-Feira	7/8	12:14	119	11305	471		Segunda-Feira	7/8	6,9
Terça-Feira	8/8	09.10	184	17480	728		Terça-Feira	8/8	7,0
Quarta-Feira	9/8	09:27	188	17860	744		Quarta-Feira	9/8	7,3
Quinta-Feira	10/8	13:00	134	12730	530		Quinta-Feira	10/8	7,5
Sexta-Feira	11/8	08:43	127	12065	503		Sexta-Feira	11/8	7,8
Sábado	12/8	-	-	-	-		Sábado	12/8	-
Domingo	13/8	-	-	-	-		Domingo	13/8	-
Segunda-Feira	14/8	09:12	135	12825	534		Segunda-Feira	14/8	7,1
Terça-Feira	15/8	12:00	140	13300	554		Terça-Feira	15/8	7,9
Quarta-Feira	16/8	08:55	150	14250	594		Quarta-Feira	16/8	7,4
Quinta-Feira	17/8	08.39	215	20425	851		Quinta-Feira	17/8	7,4
Sexta-Feira	18/8	11:36	197	18715	780		Sexta-Feira	18/8	7,5
Sábado	19/8	-	-	-	-		Sábado	19/8	-
Domingo	20/8	-	-	-	-		Domingo	20/8	-
Segunda-Feira	21/8	09:15	155	14725	614		Segunda-Feira	21/8	7,7

<i>Terça-Feira</i>	22/8	09:00	172	16340	681		<i>Terça-Feira</i>	22/8	7,9
<i>Quarta-Feira</i>	23/8	09:00	53	5035	210		<i>Quarta-Feira</i>	23/8	8,0
<i>Quinta-Feira</i>	24/8	07:00	280	26600	1108		<i>Quinta-Feira</i>	24/8	8,0
<i>Sexta-Feira</i>	25/8	09:43	155	14725	614		<i>Sexta-Feira</i>	25/8	8,0
<i>Sábado</i>	26/8	-	-	-	-		<i>Sábado</i>	26/8	-
<i>Domingo</i>	27/8	-	-	-	-		<i>Domingo</i>	27/8	-
<i>Segunda-Feira</i>	28/8	10:00	190	18050	752		<i>Segunda-Feira</i>	28/8	7,3
<i>Terça-Feira</i>	29/8	09:50	143	13585	566		<i>Terça-Feira</i>	29/8	7,3
<i>Quarta-Feira</i>	30/8	10:00	110	10450	435		<i>Quarta-Feira</i>	30/8	7,5
<i>Quinta-Feira</i>	31/8	10:01	132	12540	523		<i>Quinta-Feira</i>	31/8	7,5
<i>Sexta-Feira</i>	1/9	10:15	155	14725	614		<i>Sexta-Feira</i>	1/9	7,5
<i>Sábado</i>	2/9	-	-	-	-		<i>Sábado</i>	2/9	-
<i>Domingo</i>	3/9	-	-	-	-		<i>Domingo</i>	3/9	-
<i>Segunda-Feira</i>	4/9	08:38	182	17290	720		<i>Segunda-Feira</i>	4/9	7,1
<i>Terça-Feira</i>	5/9	09:54	148	14060	586		<i>Terça-Feira</i>	5/9	8,0
<i>Quarta-Feira</i>	6/9	10:05	149	14155	590		<i>Quarta-Feira</i>	6/9	8,2
<i>Quinta-Feira</i>	7/9	10:30	155	14725	614		<i>Quinta-Feira</i>	7/9	8,1
<i>Sexta-Feira</i>	8/9	10:30	161	15295	637		<i>Sexta-Feira</i>	8/9	7,9
<i>Sábado</i>	9/9	-	-	-	-		<i>Sábado</i>	9/9	-
<i>Domingo</i>	10/9	-	-	-	-		<i>Domingo</i>	10/9	-
<i>Segunda-Feira</i>	11/9	09:10	172	16340	681		<i>Segunda-Feira</i>	11/9	7,3
<i>Terça-Feira</i>	12/9	08:32	143	13585	566		<i>Terça-Feira</i>	12/9	7,5
<i>Quarta-Feira</i>	13/9	10:33	180	17100	713		<i>Quarta-Feira</i>	13/9	7,5
<i>Quinta-Feira</i>	14/9	08:00	183	17385	724		<i>Quinta-Feira</i>	14/9	7,5
<i>Sexta-Feira</i>	15/9	09:00	225	21375	891		<i>Sexta-Feira</i>	15/9	7,5
<i>Sólidos Totais/Sólidos Voláteis</i>									

<i>Resíduo (g)</i>	<i>Resíduo (g) + Inóculo</i>	<i>Secado</i>	<i>Queimado</i>	<i>Sólidos Totais</i>	<i>Sólidos Voláteis</i>
24,2124	35,7183	30,3650	25,6773	53,47	23,81
16,5129	21,2352	18,3421	16,6412	38,74	7,01
25,4133	30,12543	26,943	25,5541	32,46	9,20
25,325	33,7663	27,9	25,63	30,50	11,84
15,3423	22,5560	18,1527	16,5525	38,96	43,06
20,3698	31,7250	22,1345	20,5224	15,54	8,65
32,5573	39,1246	34,64	33,16	31,71	28,94
33,275	37,5561	36,543	35,132	76,34	56,82
15,563	22,9431	20,537	17,116	67,40	31,22
36,4258	45,515	39,16	36,71	30,08	10,39
25,5967	34,296	29,713	27,163	47,32	38,05
19,4798	29,2163	25,5237	20,3632	62,07	14,62
24,356	30,1632	26,516	25,4243	37,20	49,46
<i>Dia</i>		<i>Data</i>		<i>Metano (%)</i>	
Quarta-Feira		2/8		5,4	
Quinta-Feira		3/8		8,10	
Sexta-Feira		4/8		10,8	
Sábado		5/8		-	
Domingo		6/8		-	
Segunda-Feira		7/8		18,90	
Terça-Feira		8/8		21,6	
Quarta-Feira		9/8		24,3	
Quinta-Feira		10/8		27	
Sexta-Feira		11/8		29,7	
Sábado		12/8		-	
Domingo		13/8		-	
Segunda-Feira		14/8		37,80	
Terça-Feira		15/8		40,5	
Quarta-Feira		16/8		43,2	
Quinta-Feira		17/8		45,70	
Sexta-Feira		18/8		48,2	
Sábado		19/8		-	
Domingo		20/8		-	
Segunda-Feira		21/8		56,75	
Terça-Feira		22/8		59,45	
Quarta-Feira		23/8		62,16	
Quinta-Feira		24/8		64,85	
Sexta-Feira		25/8		67,55	

Sábado	26/8	-
Domingo	27/8	-
Segunda-Feira	28/8	70,25



Anexo 8: Dados dos processos de biodigestão realizados no Brasil e informações gráficas referentes a produção de metano ao longo de 27 dias [3] [190].

OBSERVAÇÃO

Infelizmente, devido ao tempo escasso gerado pela pandemia do COVID-19, para além de dificuldades no decorrer do desenvolvimento do biorreator, no acesso ao equipamento de cromatografia e na controvérsia conceitual referente a manipulação do cromatógrafo para análises exclusivas de biogás, algumas concepções quanto a sua elaboração e análise de seus produtos, foram definidas como perspectivas de pesquisa futura, deixando apenas a cargo desta dissertação, a exceção dos trabalhos realizados de cunho empresarial, a etapa de elaboração do biodigestor experimental de bancada, fundamentando se o mesmo equipamento encontra-se de fato exercendo um correto desempenho e os respectivos resultados no decorrer de trabalhos experimentais.

