

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOENERGIA**

MURILO PAILO PUPO BANDEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO DE BAMBU PARA POTENCIAL APLICAÇÃO
COMO ADSORVENTE DE SULFETO DE HIDROGÊNIO DE BIOGÁS**

**PONTA GROSSA
2023**

MURILO PAILO PUPO BANDEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO DE BAMBU PARA POTENCIAL APLICAÇÃO
COMO ADSORVENTE DE SULFETO DE HIDROGÊNIO DE BIOGÁS**

Dissertação apresentada para obtenção
do título de mestre na Universidade
Estadual de Ponta Grossa, Programa de
Pós-graduação Stricto Sensu em
Bioenergia

Orientador: Prof. Dr. Eder Carlos Ferreira
Souza

PONTA GROSSA

2023

B214 Bandeira, Murilo Pailo Pupo
Caracterização do carvão de bambu para potencial aplicação como
adsorvente de sulfeto de hidrogênio em biogás / Murilo Pailo Pupo Bandeira.
Ponta Grossa, 2023.
55 f.

Dissertação (Mestrado em Bioenergia - Área de Concentração: Energias
Renováveis), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Eder Carlos Ferreira de Souza.

1. Energia. 2. Biodigestores. 3. Biogás. 4. Sulfeto de hidrogênio. 5. Carvão
de bambu. I. Souza, Eder Carlos Ferreira de. II. Universidade Estadual de Ponta
Grossa. Energias Renováveis. III.T.

CDD: 665



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
Av. General Carlos Cavalcanti, 4748 - Bairro Uvaranas - CEP 84030-900 - Ponta Grossa - PR - <https://uepg.br>

TERMO

TERMO DE APROVAÇÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

MURILO PAILO PUPO BANDEIRA

“CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO DE BAMBU PARA POTENCIAL APLICAÇÃO COMO ADSORVENTE DE SULFETO DE HIDROGÊNIO EM BIOGÁS”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Eder Carlos Ferreira de Souza
UEPG/PR

Prof. Dr. Alberto Adriano Cavalheiro
UEMS/MS

Prof. Dr. Pedro Henrique Weirich Neto
UEPG/PR



Documento assinado eletronicamente por **Eder Carlos Ferreira de Souza, Professor(a)**, em 01/08/2023, às 12:51, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Alberto Adriano Cavalheiro, Usuário Externo**, em 02/08/2023, às 23:45, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Henrique Weirich Neto, Professor(a)**, em 03/08/2023, às 07:48, conforme Resolução UEPG CA 114/2018 e art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

RESUMO

BANDEIRA, Murilo Pailo Pupo. **Caracterização do carvão de bambu para potencial aplicação como adsorvente de sulfeto de hidrogênio de biogás.** Dissertação (Mestrado em Bioenergia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023.

Conforme a população e a demanda por energia crescem, novas fontes e inovações em processos ganham atenção e são foco de pesquisas. É inteligente que se aprimorem as formas de transformar em matéria-prima de energia, o que hoje é considerado resíduo. No campo, dejetos de animais são amiúdes preocupações dos produtores, com relação a estrutura e logística de descarte. Através da tecnologia dos biodigestores, realocam-se esses materiais para que deixem de ser um problema a ser solucionado e passem a ser fonte de energia térmica e elétrica. Biogás, cuja definição é “gás combustível gerado pela fermentação anaeróbica de matéria orgânica de origem animal ou vegetal”, em contrapartida, tem em sua composição o enxofre que, ligado a dois átomos de hidrogênio, forma sulfeto de hidrogênio (H_2S), gás tóxico, corrosivo, de odor fétido e prejudicial à saúde humana e à vida útil de equipamentos e que, portanto, deve ser contido durante o processo de geração de energia. Assim, objetivou-se em verificar a capacidade do carvão de bambu em ser utilizado como filtro para a redução de emissão de sulfeto de hidrogênio neste processo de geração de biogás em biodigestores. Para isso, bambus *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea*, nas porções da base até 0,75 m e outra entre 0,75 m e 1,25 m de altura, foram transformados em carvão, macerados e analisados quanto suas capacidades de adsorção. Ativação física com temperatura e ativação química com ureia e nitrato de ferro(III) foram também testadas e comparadas, tendo como melhor material o carvão de bambu *B. Vulgaris*, da base, ativado com nitrato de ferro(III).

Palavras-chave: Energia, biodigestores, biogás, sulfeto de hidrogênio, carvão de bambu, filtro, adsorção.

ABSTRACT

BANDEIRA, Murilo Pailo Pupo. **Caracterização do carvão de bambu para potencial aplicação como adsorvente de sulfeto de hidrogênio de biogás.** Dissertação (Mestrado em Bioenergia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2023.

As the population and demand for energy grow, new sources and innovations in processes gain attention and are the focus of research. It is smart to improve methods of transforming what is currently considered waste into energy raw material. In the field, animal waste is often a concern for producers regarding the structure and logistics of disposal. Through the technology of biodigesters, these materials are reallocated so that they are no longer a problem to be solved and become a source of thermal and electrical energy from their biogas. Biogas, whose definition is “fuel gas generated by the anaerobic fermentation of organic matter of animal or vegetable origin”, on the other hand, has sulfur in its composition, which, linked to two hydrogen atoms, forms hydrogen sulfide (H_2S), a toxic, corrosive, foul-smelling gas that is harmful to human health and to the useful life of equipment and, therefore, must be contained during the energy generation process. Thus, the objective was to verify the ability of bamboo charcoal to be used as a filter to reduce hydrogen sulfide emissions in this process of biogas generation in biodigesters. For that, bamboos *Bambusa vulgaris* and *Phyllostachys aurea*, at layers from the basis until 0,75 m and another between 0,75 m and 1,25 m high were transformed into charcoal, macerated and analyzed for their adsorption capacities. Physical activation with temperature and chemical activation with urea and iron nitrate were also tested and compared, concluding as the best material bamboo *B. Vulgaris*, from basis, activated by iron nitrate charcoal.

Keywords: Energy, biodigesters, biogas, hydrogen sulfide, bamboo charcoal, filter, adsorption.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Percentual de fontes de energia no Brasil.....	12
FIGURA 2 - Percentual de fontes dentre as “outras renováveis”.....	13
FIGURA 3 - Principais países exportadores de carne suína e participação no mercado.....	16
FIGURA 4 - Cálculo de volume de biogás diário para cada três porcos.....	17
FIGURA 5 - Crescimento da quantidade de plantas em operação e produção de biogás no Brasil.....	19
FIGURA 6 - número de plantas existentes e novas por estado em 2021.....	19
FIGURA 7 - Concentração de novos biodigestores em 2021 no Brasil.....	20
FIGURA 8 - Evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no Paraná.....	21
FIGURA 9 - Concentração de novos biodigestores em 2021 no Paraná.....	21
FIGURA 10 - Diagrama com utilidades do bambu.....	24
FIGURA 11 - <i>Bambusa Vulgaris</i>	25
FIGURA 12 - Detalhe dos nós e colmos do bambu <i>Phyllostachys aurea</i>	26
FIGURA 13 - Na imagem a., moagem de biomassa de bambus em moinho industrial no Laboratório de Mecanização Agrícola na Universidade Estadual de Ponta Grossa; em b. Material já triturado.....	31
FIGURA 14 - Forno mufla Zezimaq® para o processo de carbonização do carvão de bambus (<i>Bambusa Vulgaris</i> e <i>Phyllostachys Aurea</i>), laboratório de Tratamento Térmico, do Grupo de Pesquisa em Materiais Estruturais e Funcionais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.....	32
FIGURA 15 - Carvões de bambu <i>Phyllostachys Aurea</i> em diferentes granulometrias: a. pulverizado, b. em pedaço e c. moído.....	33
FIGURA 16 - Forno mufla Zezimaq® para o processo de ativação física a 500 °C dos carvões de bambus (<i>Bambusa Vulgaris</i> e <i>Phyllostachys Aurea</i>), laboratório de Tratamento Térmico, do Grupo de Pesquisas em Materiais Estruturais e Funcionais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022.....	34
FIGURA 17 - Solução de 1 mol/L de ureia em água destilada na figura a. e 2g de biomassa em 100 mL de solução de ureia na figura b.....	35
FIGURA 18 - Cristais de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ em a. e solução de 1mol/L de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ em água destilada na figura b.....	36

FIGURA 19 - Detalhamento de filtragem a. e secagem b. e c.....	36
FIGURA 20 - equipamento para análise de área superficial por Brunauer-Emmett-Teller (BET) (a) e amostras em (b).....	37
FIGURA 21 - Equipamento de Microscopia Eletrônica de Alta Resolução (MEV-FEG)	38
FIGURA 22 - Processo de análise imediata do carvão dos bambus <i>Bambusa Vulgaris</i> e <i>Phyllostachys Aurea</i> , realizado em forno mufla modelo Zezimaq®, laboratório de Tratamento Térmico, do Grupo de Pesquisas em Materiais Estruturais e Funcionais da Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR), para quantificar os teores de voláteis, cinzas, umidade de carbono fixo dos carvões, 2022.....	39
FIGURA 23 - Picnômetro, cadinhos de porcelana e balança de precisão.....	41
FIGURA 24 - a. Beckers com carvão e corante diluído em diferentes proporções, b. eppendorfs posicionados na centrífuga, c. painel da centrífuga com velocidade, tempo e temperatura.....	42
FIGURA 25 - Detalhamento de poros transversais ao sentido da estrutura do bambu nas escalas de: a. 100 μm , b. 50 μm e c. 20 μm	49
FIGURA 26 - Poros longitudinais no carvão ativado com nitrato de ferro(III) nas escalas de: a) 100 μm , b) 50 μm e c) 10 μm	50
FIGURA 27 - UV-Vis de 340 a 800 nm de carvão ativado com nitrato de ferro(III) e carvão não ativado.....	52
FIGURA 28 - Retas do carvão ativado em a. e não ativado em b.....	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Comparação energética entre o biogás (m ³) e diferentes fontes de energia em litros, quilos e quilowatt-hora.....	15
TABELA 2 - Análises e análises avançadas de diferentes bambus em diferentes temperaturas de carbonização.....	28
TABELA 3 - Percentagem de umidade das amostras de biomassa.....	43
TABELA 4 - Análise imediata das amostras de biomassa.....	44
TABELA 5 - Área superficial específica e tamanho dos poros para o carvão não ativado.....	46
TABELA 6 - Área superficial específica e tamanho dos poros para o carvão ativado com ureia.....	47
TABELA 7 - Área superficial específica e tamanho dos poros para o carvão ativado com nitrato de ferro (III).....	48
TABELA 8 - Densidade dos carvões.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1	MATRIZES ENERGÉTICAS	12
3.2	BIOGÁS DA CRIAÇÃO DE SUÍNOS	14
3.3	BIODIGESTORES	15
3.4	PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS	19
3.4.1	Sulfeto de Hidrogênio	20
3.5	BAMBU	21
3.6	CARVÃO DE BAMBU	22
3.6.1	Carvão Ativado	23
3.7	OUTROS MATERIAIS ADSORVENTES	24
3.7	LEGISLAÇÃO	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	OBTENÇÃO DOS MATERIAIS	25
4.1.1	Coleta	25
4.1.1.1	Bambusa vulgaris	25
4.1.1.2	Phyllostachys aurea	27
4.1.2	Trituração	28
4.1.3	Obtenção do Carvão	29
4.2	ATIVAÇÃO DO CARVÃO	30
4.2.2	Ativação Química por Ureia	30
4.2.3	Ativação Química por Nitrato de Ferro(III)	31
4.3	ANÁLISE DE ÁREA SUPERFICIAL POR BRUNAUER-EMMETT-T (BET)	32
4.4	ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE ALTA RESOLUÇÃO (MEV-FEG)	33
4.5	ANÁLISE IMEDIATA	34
4.5.1	Teor de Umidade	35
4.5.2	Determinação de Teor de Material Volátil	35
4.5.3	Determinação de Teor de Cinza	36
4.5.4	Teor de Carbono Fixo	36
4.6	PODER CALORÍFICO ESTIMADO	36
4.7	MASSA ESPECÍFICA	37
4.8	ANÁLISE ELEMENTAR	38
4.9	TESTE DE ADSORÇÃO DE VERMELHO CONGO	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1	BIOMASSA	40
5.1.1	Conteúdo de Água	40
5.2	CARVÃO NÃO ATIVADO	41
5.2.1	Análise Imediata	41
5.2.2	Análise Elementar Estimada	42
5.2.3	Poder Calorífico Estimado	43
5.2.4	Área Superficial Específica para o Carvão Não Ativado	44
5.3	CARVÃO COM ATIVAÇÃO QUÍMICA DE UREIA	45

5.3.1	Área Superficial Específica para o Carvão Ativado.....	45
5.4	CARVÃO COM ATIVAÇÃO QUÍMICA DE NITRATO DE FERRO(III).....	46
5.4.1	Área Superficial Específica para o Carvão Ativado.....	46
5.5	MEV-FEG.....	47
5.6	DENSIDADE POR PICNÔMETRO.....	49
5.7	ANÁLISE DE ABSORÇÃO DE CORANTE VERMELHO CONGO.....	49
6	CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	52
	REFERÊNCIAS.....	53

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) (2022), estima-se que em novembro de 2022 a população mundial atingiu a marca de oito bilhões de pessoas, com expectativa de aumentar mais um bilhão dentro dos próximos quinze anos, e de continuar subindo até 2080, quando haverá de atingir pico. Este crescimento afetará diretamente a demanda energética e é importante que a humanidade aprenda a não depender de recursos não renováveis de nosso planeta como fonte de energia.

Além das já conhecidas energias solar e eólica, a energia provinda de biomassa, que muitas vezes é passivo ambiental e que por digestão natural gera um gás composto basicamente de metano – 60% (CH_4), dióxido de carbono – 35 a 40% (CO_2), e em menor quantidade o nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S), também é tida como limpa, já que sana o problema de descarte de um resíduo utilizando-o como matéria-prima para diversos tipos de energia (PETERSSON; WELLINGER, 2009).

O sulfeto de hidrogênio é um componente, que embora apresente traços na composição do biogás, quando combinado com água, o H_2S transforma-se em ácido sulfídrico e acarreta corrosão das tubulações do biodigestor. Além disso, o gás possui mau cheiro, e é inflamável, sendo perigoso à população (MAINIER; VIOLA, 2005; MONTELEONE et al., 2011). Membranas, óxidos de ferro, espumas vítreas, adição de oxigênio, adsorção em água e outras formas de filtragem são opções que atualmente vem sendo usadas em biodigestores. (MACHADO *et al.*, 2015).

Alguns trabalhos com testes de filtros utilizando carvão obtidos a partir de casca de jerivá (DALZOTO, 2019; FERREIRA, 2020) tem sido realizados.

Neste trabalho estudou-se o carvão obtido a partir de algumas variedades de bambu para uso em filtros para retirada de H_2S de biogás. Se satisfatórios, espera-se o desenvolvimento de um filtro acessível devido à abundância da planta e rapidez em seu crescimento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar e verificar se os carvões de bambus *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl. e *Phyllostachys aurea* Carrière ex Rivière & C. Rivière podem ser utilizados em filtros para a remoção de sulfeto de hidrogênio (H_2S) em biogás gerado em biodigestores.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Sintetizar carvões cujas matérias-primas são bambus da região, através de carbonização em mufla, de forma ativada e não ativada, gerando dados para comparação de corante vermelho congo.
- Caracterizar os carvões quanto suas áreas superficiais específicas e capacidades de adsorção.
- Determinar as densidades dos diferentes carvões e traçar comparativos a respeito de suas áreas superficiais.
- Comparar os resultados alcançados com outros materiais potencialmente úteis em filtros.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MATRIZES ENERGÉTICAS

A utilização de biogás é uma realidade que no Brasil corresponde a 0,12% do total dentre as fontes utilizadas, sendo que houve um aumento expressivo de 20,9% de 2020 para 2021. De acordo com o relatório síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) e Ministério de Minas e Energia (MME, 2022) cujo ano base é 2021, fontes não renováveis ainda lideram a produção de energia com 55,3% do total, aparecendo o petróleo e seus derivados em primeiro no *ranking*, com 34,4%, seguidos pelo gás natural (13,3%) e carvão mineral com 5,6%. Das fontes renováveis, a biomassa da cana é a principal com 16,4% dentre toda energia produzida no país, seguida pela hidráulica (11,0%), lenha e carvão vegetal (8,7%) e outras renováveis (8,7%) (MME, 2022).

A oferta de energia a partir do biogás se encontra em sétimo lugar dentre as “outras renováveis” do relatório síntese do BEN, com 1,4%, atrás da lixívia (38,7%), eólica (23,8%), biodiesel (21,3%), solar foto voltaica (5,5%), outras biomassas (5,1%) e solar térmica (3,6%).

É importante ressaltar que uma boa variedade de matrizes energéticas representa uma maior autonomia e segurança para a nação. Para geração de energia elétrica dependemos em 67% da energia hidráulica, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2020), isto é quatro vezes mais que a média global. O que explica isto é a abundância pluvial no território brasileiro (MME, 2020). Acontece que, de acordo com o Operador Nacional de Sistema Elétrico (ONS) (2022), na última década, o país passou pela pior crise hidrológica desde 1930. Em períodos como estes, são tomadas medidas de racionamento e há risco de apagão. Casos de falta repentina de abastecimento de energia elétrica em uma cidade representam problemas relacionados à refrigeração de produtos, iluminação urbana e aquecimento residencial, por exemplo. Portanto, implantar novas fontes geradoras com diversidade é sinônimo de segurança energética e um dos caminhos para isso é o aproveitamento da energia de biomassa.

Em essência, biomassas são materiais orgânicos que podem ser convertidos em energia. Uma das mais antigas formas de obtenção de energia da natureza pelo homem é a queima de biomassa vegetal – folhas e madeira – que, por sua vez, se

desenvolvem devido à utilização da energia solar através da fotossíntese. Além de biomassa na forma sólida, pode-se também usá-la nos estados líquidos e gasosos, após modificações químicas, sendo respectivos exemplos destes o combustível etanol em veículos e o biogás em biodigestores (SILVA; CABELO; BOLLMANN, 2008). Ambientalmente, a utilização de biomassa possui vantagens frente a recursos não renováveis como fonte de energia. Isso ocorre pelo fato de, por meio da fotossíntese, a biomassa ser capaz de consumir o equivalente quase que a totalidade do dióxido de carbono emitido durante a sua queima, resultando em uma pegada de carbono praticamente nula. Além disso, para o caso do biogás, metano é evitado de ser liberado para a atmosfera, já que este gás é 21 vezes mais poluente que dióxido de carbono em relação ao efeito estufa gerado pela absorção de radiação infravermelha (PETERSSON; THOMSEN; HUGGAARD-NIELSEN, 2007).

O poder calorífico do biogás é um parâmetro que indica seu potencial de utilidade prática como fonte de energia. Ele varia de acordo com a quantidade de metano na sua composição, aumentando de forma diretamente proporcional, isto é, quanto mais metano, melhor potencial energético o biogás tem. (COSTA, 2006; SASSE, 1988). Cortez, Lora e Gómez (2008) organizou uma equivalência entre volume de biogás e quantidade de outros combustíveis e de energia elétrica, como podemos observar na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação energética entre o biogás (m³) e diferentes fontes de energia em litros, quilos e quilowatt-hora.

Biogás (m ³)	Equivalências	
	Fonte energética	Quantidade
1,63	Gasolina	1 litro
1,8	Óleo Diesel	1 litro
1,73	Querosene	1 litro
1,58	Gasolina de avião	1 litro
2	Óleo Combustível	1 litro
1,81	Petróleo médio	1 litro
1,26	Etanol	1 litro
2,2	GLP	1 kg
0,65	Lenha	1 kg
1,36	Carvão vegetal	1 kg
0,29	Xisto	1 kg
→ 0,7	Energia Elétrica	1 quilowatt-hora

Fonte: Cortez et al., 2008.

A fim de comparação, nos atenhemos à última linha, sinalizada com a seta amarela, onde é mostrada a equivalência entre volume de biogás e quantidade de energia elétrica. Calculemos que para uma lâmpada LED de 12 W, ligada quatro horas por dia durante 30 dias, o consumo mensal é de 1,44 kW.h, e isto corresponde a apenas um metro cúbico de biogás.

Para a produção do biogás, como matéria-prima, são utilizados dejetos de animais que podem ser de criadouros de gado bovino e suíno, além de esterco recolhido em leiteiras e granjas de avicultura. Com isso, nota-se que a região dos Campos Gerais, com destaque para os municípios de Carambeí, Castro e Piraí do Sul, apresenta grande potencial para desenvolvimento e aproveitamento desta tecnologia, tendo em vista possui tais criações em larga escala.

3.2 BIOGÁS DA CRIAÇÃO DE SUÍNOS

A criação de gado suíno tem direta relação com a fixação do homem no campo. Ela é atividade importante nos pontos de vista econômico-social e é a fonte de proteína mais importante do mundo de acordo com a EMBRAPA (2010), sendo o Brasil o quarto maior produtor e exportador do mundo, atrás da China, União Européia e Estados Unidos. Contudo, enquadra-se por órgãos ambientais como “atividade potencialmente causadora de impacto ambiental”, com grande potencial poluidor (OLIVEIRA, 2009). A Figura 3 demonstra a evolução do Brasil dentre os maiores exportadores de carne suína até o ano de 2010.

Segundo RITTER *et al.* (2013), a Associação Paranaense de Suinocultores (APS) registrava dois mil biodigestores implantados no Brasil até 2013, número pequeno ao compararmos com as 700 mil propriedades com produção de suínos em território nacional na época.

O Paraná possui grande relevância neste cenário devido à importantes cooperativas de abate e beneficiamento de porcos. Em recente destaque, temos a cidade de Assis Chateaubriand, na região oeste, que ganhou no ano passado a maior unidade frigorífica de suínos da América Latina e tem 160 produtores cooperados (Agência estadual de notícias, 2022)

Com o intuito de analisarmos o impacto prático da utilização do biogás de dejetos de porcos, retomemos o cálculo realizado no tópico anterior o qual relaciona 1 metro cúbico deste combustível com uma lâmpada LED acesa por quatro horas

diárias durante um mês. Utilizando a calculadora da Biogasfort, presente no site da EMBRAPA e ilustrado na Figura 1, estima-se que a cada três suínos a capacidade de geração é de dois metros cúbicos de biogás em um único dia, e isso já seria suficiente para deixar duas lâmpadas ligadas das 18 h até as 22 h o mês todo sem causar despesa com conta de luz. Assim, observamos como o impacto econômico em uma propriedade rural é significativo, seja ela da agropecuária familiar ou de larga escala (EMBRAPA, 2023).

Figura 1 - Cálculo de volume de biogás diário para cada três porcos

Sistema de produção: Ciclo completo		Número de animais: 3	
BIOGASFORT			
SÓLIDOS VOLÁTEIS		POTENCIAL DE BIOGÁS	
kg/dia : 3,2	kg/dia : 3,2	m³/dia : 2,0	m³/dia : 2,0
Ton/ano : 1,2	Ton/ano : 1,2	Mil m³/ano : 0,7	Mil m³/ano : 0,7
Mais informações		Mais informações	
CONSUMO DE ÁGUA		PRODUÇÃO DE DEJETOS	
m³/dia : 0,2	m³/dia : 0,2	m³/dia : 0,1	m³/dia : 0,1
m³/ano : 79,8	m³/ano : 79,8	m³/ano : 51,6	m³/ano : 51,6
Mais informações		Mais informações	
POTENCIAL DE METANO		POTENCIAL CALORÍFICO	
m³/dia : 0,8	m³/dia : 0,8	kWh/dia : 5,4	kWh/dia : 5,4
Mil m³/ano : 0,3	Mil m³/ano : 0,3	MWh/ano : 2,0	MWh/ano : 2,0
Mais informações		Mais informações	

Fonte: O autor, através da calculadora da Biogasfort disponível no site da EMBRAPA, 2023

A Associação Brasileira do Biogás (Abiogás) calculou que os rejeitos de suínos podem gerar cerca de 2,7 bilhões de metros cúbicos por ano de biometano, o que substituiria 2,5 bilhões de litros de diesel. Transformando para energia elétrica, seriam 26,55 Gwh por dia, ou 9.690,64 GWh no ano, o que seria suficiente para suprir cerca de cinco milhões de casas mensalmente (Abiogás, 2020).

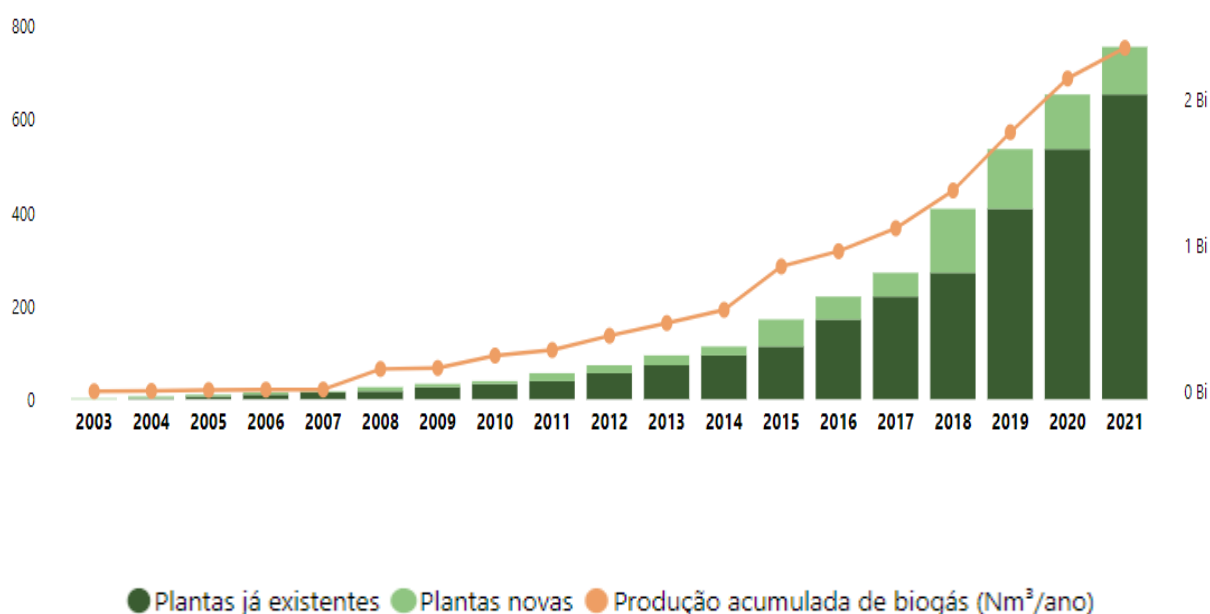
3.3 BIODIGESTORES

Biodigestores são espaços confinados onde ocorre digestão anaeróbica, isto é, sem oxigênio, de matéria orgânica e que, ao final do processo, geram o biogás.

Historicamente há registros de que o biogás foi percebido em regiões de pântano em 1667, por Thomas Shirley no Reino Unido, ao ser identificada a presença de um gás inflamável oriundo da decomposição da matéria orgânica. Cerca de um século depois o físico italiano Alessandro Volta caracteriza a presença do metano (CH_4) na composição química do gás. Foi na segunda metade do século XIX que o biogás começa a ter utilidade para o conforto humano, sendo utilizada para aquecimento e iluminação urbana por sugestão de Louis Pasteur e seu aluno Ulysse Gayon enquanto, contemporaneamente, tem-se registros de que a Índia também o utilizava e a tecnologia difundia-se para o oriente e para o mundo. Tanto o é que os modelos de “biodigestores sertanejos”, aqueles feitos para pequenas propriedades, ainda hoje são baseados em modelos de biodigestores dos tipos indiano e chinês (CIBiogás, 2021).

Durante a segunda grande guerra, na década de 1940, muitos países tiveram de desenvolver as técnicas de biodigestores para que pudessem ter biogás para aquecimento, iluminação e também combustível para motores. Ao final do século XX, a tecnologia melhorava gradativamente e a popularização aumentava. Contudo, são nos dias de hoje que a difusão se mostra cada vez mais massiva. A Figura 2 traz detalhadamente o crescimento do número de novas plantas no Brasil ano a ano (CIBiogás, 2021).

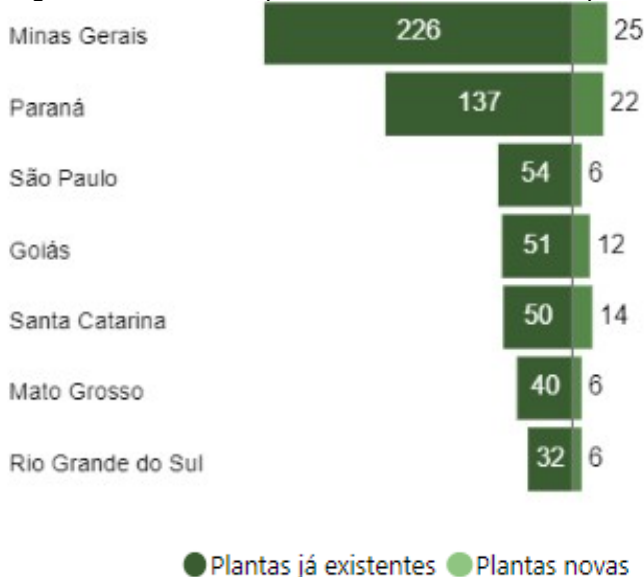
Figura 2 - Crescimento da quantidade de plantas em operação e produção de biogás no Brasil



Fonte: CIBiogas, 2021

Na Figura 3, estão listados os estados onde houve os maiores números de novos biodigestores instalados no ano de 2021. O gráfico corrobora a importância do Paraná neste cenário.

Figura 3 - número de plantas existentes e novas por estado em 2021



Fonte: CIBiogas, 2021

No mapa mostrado pela Figura 4, pode-se observar onde foram concentradas as implantações de novos biodigestores em 2021.

Figura 4 - Concentração de novos biodigestores em 2021 no Brasil

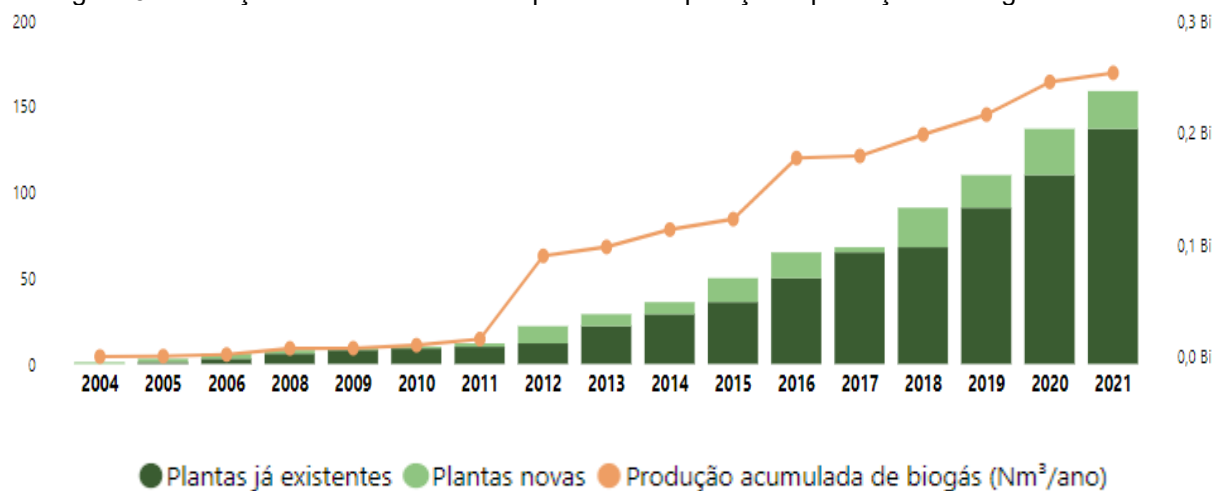


Fonte: CIBiogas, 2021

O gráfico e o mapa de calor anteriores deixam claro que na região Centro Sul foi onde concentraram-se os maiores índices de instalação de novos biodigestores sendo que as cores verde, amarela e vermelha representam, respectivamente, os locais com menor a maior densidade de incidência.

A Figura 5 demonstra o crescimento paranaense de número de plantas.

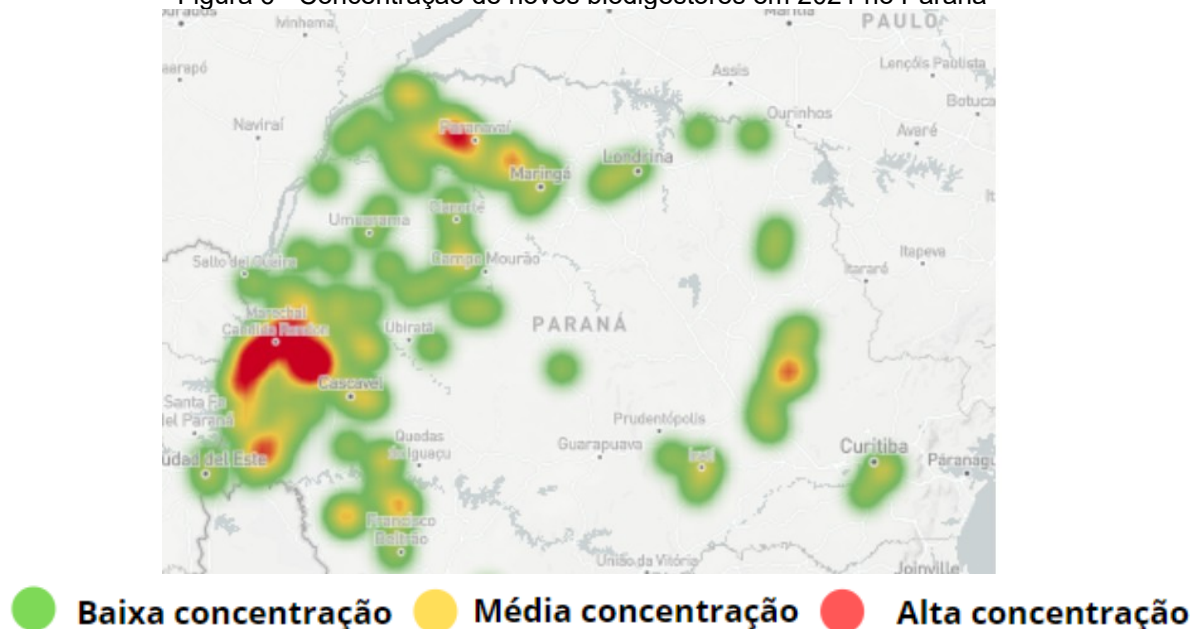
Figura 5 - Evolução anual do número de plantas em operação e produção de biogás no Paraná



Fonte: CIBiogas, 2021

Sobre a concentração paranaense de biodigestores observa-se, através da Figura 6, que o oeste do estado avançou bastante no ano em questão.

Figura 6 - Concentração de novos biodigestores em 2021 no Paraná



Fonte: CIBiogas, 2021

Notamos alta concentração de novos biodigestores em nosso estado na região oeste, norte e na região dos Campos Gerais, uma vez que em verde, no mapa, estão regiões onde há alguma incidência de novos biodigestores, em amarelo, média concentração e, em vermelho, grande concentração.

3.4 PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Tem-se por poluição ambiental toda prática que cause danos ao meio ambiente de forma não espontânea e que desencadeie consequências ao ecossistema. Dejetos de animais podem causar poluição do ar, água e solo, além de poluição visual quando não tratados ou destinados corretamente. Se lançados na terra de forma desmedida, uma sobrecarga de nutrientes pode ocorrer com a lixiviação de nitrogênio e fósforo, por exemplo, levando à acidificação do solo e podendo infiltrar-se no lençol freático. Além disso, muitos gases são liberados, como amônia e sulfeto de hidrogênio, foco do presente trabalho, que contribuem com

chuvas ácidas e destruição da camada de ozônio (HOLM-NIELSEN; SAEDI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009).

Por isso, é importante ter também um controle sobre o material líquido e sólido que sai do biodigestor após o uso de seu biogás, pois, com tratamento e filtragem adequada este subproduto voltará para a terra como forma de fertilizante para agricultura ao invés de voltar como contaminante como era antes de todo o processo (ZHAO *et al.*, 2010).

De número atômico 16 e massa 32 o enxofre (S) é um elemento químico de coloração amarela, insolúvel em água e que possui odor específico de ovo podre quando ligado com hidrogênio (H). Há quatro diferentes estados de oxidação em que o enxofre pode ser encontrado na natureza, sendo eles, sulfato (SO_4^{2-}), dióxido de enxofre (SO_2), sulfito (SO_3^{2-}) e sulfeto (S^{2-}), podendo alterar seu estado de oxidação. (FONSECA; BACIC, 2009).

Ao combinar-se com outros elementos químicos na natureza o enxofre converte-se em sulfeto (S^{2-}), ânion que facilmente se liga com metais e pode também ser combinado ao hidrogênio e oxigênio, originando sulfeto de hidrogênio (H_2S) e sulfato (SO_4^{2-}), respectivamente (MATIAS, 2010).

3.4.1 Sulfeto de Hidrogênio (H_2S)

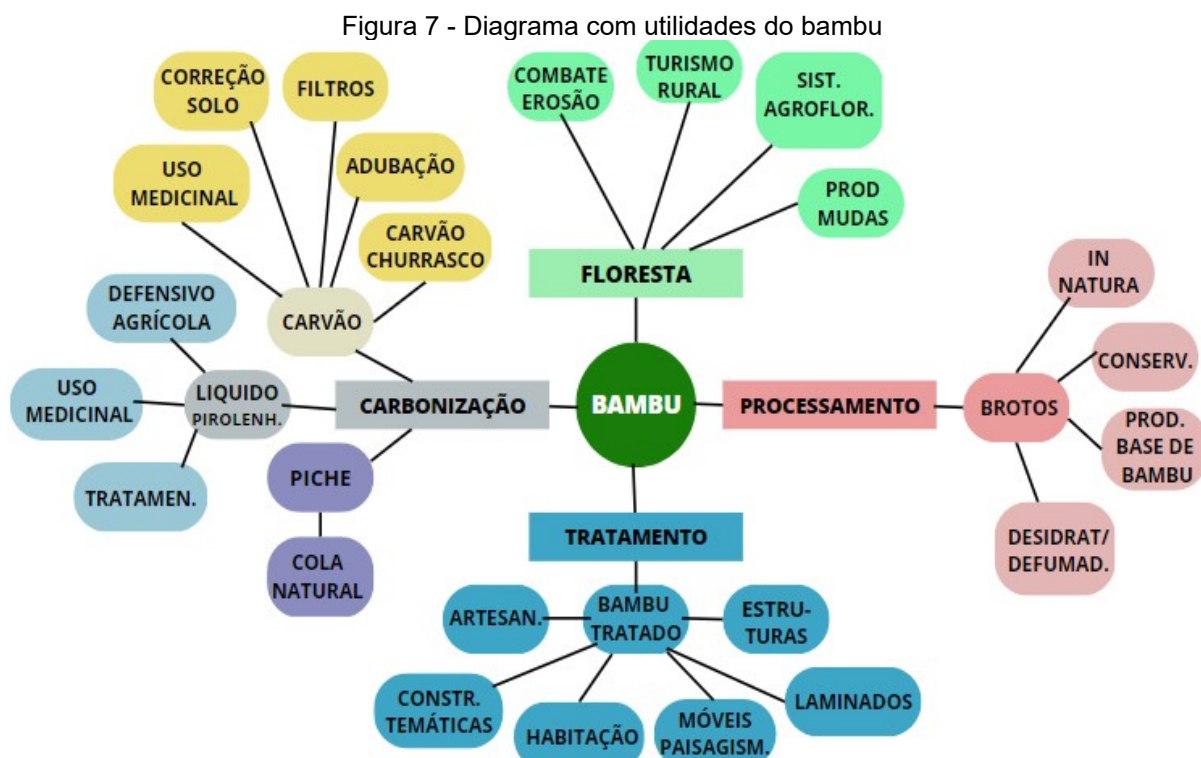
Presente no biogás, deve ser filtrado e contido antes que seja destinado à usina biodigestora e emitido à atmosfera, pois é mais denso que o ar, tóxico para os seres humanos na proporção de 50 ppm, fatal se superior a 700 ppm e corrosivo aos equipamentos. (MONTELEONE *et al.*, 2011).

A fim de elaborar um filtro que contenha o sulfeto de hidrogênio nos biodigestores, trabalhos com carvão de casca de jerivá (DALZOTTO, 2019) e carvão de borra de café foram desenvolvidos na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), ambos com o intuito de aproveitar matérias-primas abundantes e de reuso e tendo, este último, conquistado uma patente na área. Entretanto, outros tipos de biomassa podem ser utilizados na produção de filtro para sulfeto de hidrogênio.

3.5 BAMBU

Bambus são plantas da subfamília das *Bambusoideae*, uma das família das *Gramíneae* ou *Poaceae*, com cerca de 1250 espécies de 75 gêneros. Dos bambus nativos crescendo naturalmente, 67% são asiáticos, 30% americanos e 3% da África e Oceania, mas já foram levados e domesticados em todos os continentes. Hoje, a América tem destaque quanto à diversidade de bambus, com aproximadamente 450 espécies. A maior diversidade está na América do Sul, principalmente em território brasileiro, norte e centro dos Andes e México (IDALGO-LÓPEZ, 2003).

Bambus possuem crescimento rápido se comparados a outros vegetais de mesmo porte e, além de uso alimentício, também servem para construção civil, artesanato, paisagismo, fabricação de papel, carvão, móveis, cortinas, esteiras, entre outras utilidades (PANT; VARMA, 1981). O diagrama abaixo da Figura 7 mostra de forma esquemática as utilidades do bambu.



Fonte: O autor, adaptado de DELGADO, Patrícia Santos, 2011

Ambientalmente, bambus são estratégicos também para sequestro de carbono, pois é classificada como C4, denominação que se refere à quantidade de átomos de carbono presentes no primeiro produto de fixação do CO₂, sendo considerado como de alto poder de absorção (DELGADO, Patrícia Santos, 2011).

De acordo com Campos (2017), algumas espécies de bambus in natura e transformados em carvão vegetal possuem potencial energético enquanto outras, devido às suas estruturas, podem ser utilizadas como carvão para filtros e outros fins. Das espécies encontradas no Paraná, destaca-se duas, *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea*, que são detalhadas na seção seguinte.

3.6 CARVÃO DE BAMBU

Do diagrama da Figura 10, atenhamo-nos ao carvão de bambu, mais especificamente ao ramo de saneamento, pois é aqui que o filtro para reter H₂S do biogás nos biodigestores se encaixa.

O carvão de bambu é amplamente usado para filtrar água, produção de cosméticos, para eliminar germes e aumentar o poder de limpeza em alguns produtos. Além disso, é de conhecimento popular que um pedaço ou sachê de carvão pode ser utilizado na geladeira, calçados, armários ou outros locais fechados para prevenir ou eliminar mau cheiro.

Park *et al.* (2019) montou uma tabela com diferentes bambus carbonizados em diferentes temperaturas. Bambus cujos nomes populares são Andong, Hitam, Tali, Kuning e Ampel, sofreram carbonização a temperatura de 200, 400, 600, 800 e 1000 °C e tiveram medidas de análise de teor de umidade (MC), cinza (Ash), teor de material volátil (VMC*) e teor de carbono fixo (FCC**). Esta tabela foi útil para determinar a temperatura de carbonização a que os carvões deste trabalho seriam submetidos. Como podemos observar, sinalizadas pela flecha amarela na Tabela 2, o teor de material volátil cai significativamente da temperatura de 400 °C para 600 °C, em todos os tipos de bambus. A fim de proporcionar a maior área superficial possível para que haja melhor adsorção, 600 °C foi a temperatura de carbonização escolhida para o presente trabalho (Tabela 2).

Tabela 2 - Análises e análises avançadas de diferentes bambus em diferentes temperaturas de carbonização.

Temperatura de carbonização (°C)	Análises				Análises avançadas				
	MC	Ash	VMC*	FCC**	C	H	O	N	S
Andong									
200	4.8	3.1	77.1	15.0	53.0	5.78	40.6	0.49	0.06
400	5.0	5.7	28.4	60.8	74.7	3.19	21.1	0.82	0.11
600	6.1	7.9	11.0	78.8	85.1	1.76	12.0	0.92	0.13
800	7.8	6.8	11.0	74.5	86.3	0.96	11.4	1.15	0.12
1000	6.6	7.7	10.4	75.4	88.4	0.69	9.9	0.85	0.10
Hitam									
200	4.3	2.7	71.4	21.6	53.7	5.77	39.8	0.55	0.05
400	4.4	4.0	32.0	59.6	73.3	3.34	22.2	0.95	0.06
600	3.2	4.4	15.9	76.5	83.8	2.74	12.3	1.06	0.06
800	4.3	4.9	5.3	85.6	91.5	0.74	6.5	1.17	0.06
1000	4.9	4.4	5.2	85.5	93.7	0.39	4.7	1.07	0.05
Tali									
200	3.9	2.9	77.7	15.5	53.6	5.82	40.0	0.36	0.07
400	4.6	4.0	32.4	59.0	78.2	3.13	17.8	0.59	0.14
600	4.6	4.6	19.3	71.5	91.8	2.08	5.2	0.67	0.16
800	7.2	6.0	12.7	74.1	93.6	0.97	4.3	0.86	0.17
1000	8.0	4.0	11.8	76.2	95.7	0.48	2.6	0.97	0.16
Kuning									
200	4.1	3.1	76.0	16.7	52.6	5.39	41.4	0.47	0.09
400	4.9	7.1	30.7	57.3	72.9	2.89	23.3	0.67	0.16
600	6.1	7.0	15.4	71.4	83.9	1.65	13.3	0.83	0.18
800	7.3	7.9	15.4	69.3	86.5	0.73	11.4	1.14	0.15
1000	7.3	8.3	8.0	76.3	87.9	0.40	10.5	0.99	0.10
Ampel									
200	3.9	1.3	74.6	20.1	56.0	5.73	37.6	0.50	0.04
400	4.6	3.0	26.7	65.7	78.8	3.41	16.7	0.87	0.06
600	4.3	3.0	15.2	77.5	89.5	2.41	6.9	1.01	0.08
800	6.7	3.3	4.7	85.3	92.6	1.11	5.1	1.04	0.07
1000	6.6	3.0	6.4	84.0	94.8	0.54	3.5	0.96	0.06

Fonte: Park *et al*, 2019

3.6.1 Carvão Ativado

A ativação do carvão é uma forma de aumentar sua área superficial, remover impurezas e/ou carregá-lo e, com isso, otimizar sua capacidade de adsorção. Ela pode acontecer de forma física, química ou combinada físico-quimicamente.

Com bambu *Bambusa vulgaris*, a ativação resulta em êxito na remoção de sete tipos de contaminantes: um metal pesado com efeito bioacumulante; um resíduo da indústria siderúrgica, petroquímica e de papel e celulose; dois corantes da indústria têxtil; dois produtos herbicidas; e um inseticida/nematicida (SANTANA, 2016).

3.7 OUTROS MATERIAIS ADSORVENTES

Na atualidade, há diferentes materiais utilizados em biodigestores, variando em capacidade de adsorção e custo de produção. Enquadrando-se nos princípios da ‘Química Verde’, podemos citar a espuma vítrea, material poroso, confeccionado com vidro moído que substitui matéria-prima fóssil (PITTSBURGH, 2015). Argilominerais também são estudados amplamente para remoção de sulfeto de hidrogênio devido à abundância na natureza, baixo custo e ausência de necessidade de processos que demandam alta energia para sua obtenção (SARTORI et al., 2011; PEREIRA et al., 2013; PATRICIO et al., 2014). Vale lembrar, também, que carvões ativados oriundos de diferentes biomassas tem sido desenvolvidos para o mesmo fim, com destaque a carvões de eucalipto e outras madeiras, turfa, casca de coco entre outros (Zhao et al., 2010). Vale, portanto, aprofundar estudos no carvão ativado de bambu, biomassa que pode possuir benefícios semelhantes ao de materiais lenhosos porém com maior abundância devido ao seu rápido crescimento.

3.8 LEGISLAÇÃO

O novo Marco Regulatório do Gás Natural (Lei 14.134, de 2021) que regulamenta transporte, tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural no país tem o intuito de dar mais autonomia a empresas de transporte, distribuição e produção de biogás a fim de aumentar a competitividade de empresas inseridas nestes ramos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO DOS MATERIAIS

Para se atingir o objetivo geral, os bambus *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea* foram coletados nos domínios do Campus Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) (25°05'24.0"S 50°06'22.9"W) e na Fazenda Escola da mesma universidade (25°5'43"S, 50°3'26"W), respectivamente. As amostras foram divididas na altura da base e do meio das varas a fim de gerar dados comparativos, posteriormente foram trituradas, transformadas em carvão, ativadas e analisadas pelos métodos de Microscopia Eletrônica de Alta Resolução (MEV-FEG), área superficial específica por fisissorção de nitrogênio e tratamento dos dados segundo o modelo de Brunauer-Emmett-Teller (BET) e análise imediata - determinação do teor de umidade, determinação do teor de matéria volátil, determinação do teor de cinzas e determinação do teor de carbono fixo.

Foram levados em conta filtros de outros materiais para que se traçasse comparações em termos de área superficial específica e rendimento do carvão obtido.

4.1.1 Coleta

In loco, foram selecionadas varas de bambu sadias e maduras, ainda verdes, sob critério de evitar contaminações no material e optou-se por cortá-las com serrote para que não fossem danificadas..

Para cada um dos dois tipos de bambus, foram criadas duas amostras, diferenciando-as em parte da base e parte na cota 1m (+/- 25cm) das varas. O trabalho, então, foi desenvolvido com quatro amostras diferentes: *Bambusa vulgaris* da base, *Bambusa vulgaris* na cota 1m (+/- 25cm), *Phyllostachys aurea* da base e *Phyllostachys aurea* na cota 1m (+/- 25cm).

4.1.1.1 *Bambusa vulgaris*

Nativo da Ásia porém naturalizado no Brasil, principalmente em regiões de Cerrado e Mata Atlântica, cuja classe é designada como Monocotiledônea, ordem

Poales, família Poaceae, subfamília Bambusoide, tribo Bambuseae (Bambus Lenhosos), gênero *Bambusa* e espécie *B. Vulgaris* (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2023). Os colmos dessa espécie (Figura 8), que é do tipo entouceirante, apresentam altura média de 10 metros a 20 metros, diâmetro entre 4 cm a 10 cm, estrutura ereta próxima à base e encurvada ao longo do topo (CASTELO BRANCO, 2016).

Figura 8 - *Bambusa vulgaris*



Fonte: o Autor, 2023

4.1.1.2 *Phyllostachys aurea*

Da família Poaceae, ordem Poales, subclasse Magnoliopsida, da classe Commelinidae, subdivisão Magnoliophytina (Angiospermae), da divisão Spermatophyta, de origem chinesa e globalmente difundido, este bambu que ganha os nomes populares de cana-da-índia e bambu dourado, é do tipo alastrante e sua maior utilização é como ornamentação e construção de móveis, já que tem aparência esteticamente diferenciada na junção de seus colmos (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2023) (Figura 9).

Figura 9 - Detalhe dos nós e colmos do bambu
Phyllostachys aurea



Fonte: o Autor, 2023

4.1.2 Trituração

Em moinho industrial situado no Laboratório de Mecanização Agrícola da UEPG, mostrado abaixo na Figura 10-“a”, trituraram-se as amostras atingindo a dimensão de fibras entre 0,5cm e 1,0cm de comprimento, como pode ser visto na imagem 10-“b”. Além disso, para esta etapa, há que se ter atenção e cuidado a respeito de segurança e também com contaminação ou mistura de outros materiais. Deve-se esperar a lâmina parar de girar por completo, sem interferência manual para isto, e então realizar uma limpeza minuciosa toda vez que um novo material for triturado (Figura 10). De posse das amostras (caules cortados), as mesmas foram secas em estufa a 40 °C por pelo menos 24 h.

Figura 10 - Na imagem a., moagem de biomassa de bambus em moinho industrial no Laboratório de Mecanização Agrícola na Universidade Estadual de Ponta Grossa; em b. Material já triturado.



Fonte: o Autor

4.1.3 Obtenção do Carvão

Na temperatura de 600 °C, durante quinze minutos em cadinhos de porcelana tampados e atmosfera autogerada, as amostras de biomassa de bambu foram carbonizadas e transformadas em carvão no forno mufla, da marca Zezimaq® (Figura 11), disponível no laboratório de Tratamento Térmico, do Grupo de Pesquisas em Materiais Estruturais e Funcionais da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Figura 11 - Forno mufla Zezimaq® para o processo de carbonização do carvão de bambus (*Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea*), laboratório de Tratamento Térmico, do Grupo de Pesquisa em Materiais Estruturais e Funcionais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2022



Fonte: o Autor, 2022

Na Figura 12 são apresentados exemplos de carvões de bambu *Phyllostachys aurea* em diferentes granulometrias: a. pulverizado, b. em pedaço e c. moído.

Figura 12 - Carvões de bambu *Phyllostachys aurea* em diferentes granulometrias: a. pulverizado, b. em pedaço e c. moído



Fonte: o autor, 2022

4.2 ATIVAÇÃO DO CARVÃO

Duas diferentes ativações foram realizadas neste trabalho a fim de melhorar a área superficial dos carvões e traçar dados comparativos entre eles, sendo a ativação química, com solução de ureia e química com solução de nitrato de ferro(III).

4.2.2 Ativação Química por Ureia

Preparou-se a solução de ureia para o experimento com a primeira ativação química. O processo consistiu em misturar 1 mol de ureia (60g) em um litro de água destilada, armazenado em vidro âmbar e a utilização foi de 100 mL dessa solução para cada 2g de biomassa de bambu (Figura 14).

Após setenta minutos da biomassa mergulhada na solução, filtrou-se a mistura e a biomassa foi deixada na estufa a 105 °C durante uma hora para que se pudesse coletar a biomassa ativada seca, que foi levada ao forno mufla Zezimaq® para ser carbonizada.

Figura 13: Solução de 1 mol/L de ureia em água destilada na figura a. e 2g de biomassa em 100 mL de solução de ureia na figura b.



Fonte: o Autor, 2022

4.2.3 Ativação Química por Nitrato de Ferro(III)

A solução de 1mol/L de nitrato de ferro (III) ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) foi preparada utilizando-se 101 g de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ em 500 mL de água destilada. Durante sessenta minutos, dois gramas de biomassa de cada amostra ficou mergulhado nesta solução a fim de absorvê-la (Figura 15). Posteriormente, a biomassa foi filtrada e seca em estufa durante uma hora para que se pudesse coletá-la e levá-la ao forno mufla Zezimaq® para carbonização (Figura 16).

Figura 14: Cristais de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ em a. e solução de 1mol/L de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ em água destilada na figura b.



Fonte: o Autor, 2022.

Figura 15: Detalhamento de filtragem a. e secagem b. e c.



Fonte: o Autor, 2022

4.3 ANÁLISE DE ÁREA SUPERFICIAL POR BRUNAUER-EMMETT-TELLER (BET)

Etapa fundamental para determinação de área superficial específica e, portanto, para a comparação entre os melhores carvões cujo fim seja capacidade de adsorção. O equipamento de fisissorção de nitrogênio Quantachrome modelo Nova Touch encontra-se no Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-Labmu), na UEPG. As amostras foram limpas sob vácuo, na temperatura de 300 °C por 3 h, sendo após submetidas a adsorção e dessorção de gás nitrogênio, estando as amostras em banho de nitrogênio líquido (Figura 17).

Figura 16: Equipamento para análise de área superficial por Brunauer-Emmett-Teller (BET) (a) e amostras em (b).



Fonte: o autor, 2022

4.4 ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE ALTA RESOLUÇÃO (MEV-FEG)

Através do equipamento de Microscopia Eletrônica de Alta Resolução (MEV-FEG), imagens microscopicamente detalhadas são observadas e elementos químicos são identificados em suas proporções por EDS. Como o carvão, em sua maior parte, é composto por carbono e este é mau condutor, uma camada de cobertura de ouro deve ser depositada para melhor obtenção das imagens por elétrons secundários, para que a amostra passa a ter melhor condutividade térmica e elétrica.

Na Figura 18, é apresentado o microscópio eletrônico de varredura (MEV-FEG) Tescan, modelo Mira 3 LM, também presente no Complexo de Laboratórios Multiusuários (C-Labmu), na UEPG.

Figura 17: Equipamento de Microscopia Eletrônica de Alta Resolução (MEV-FEG)

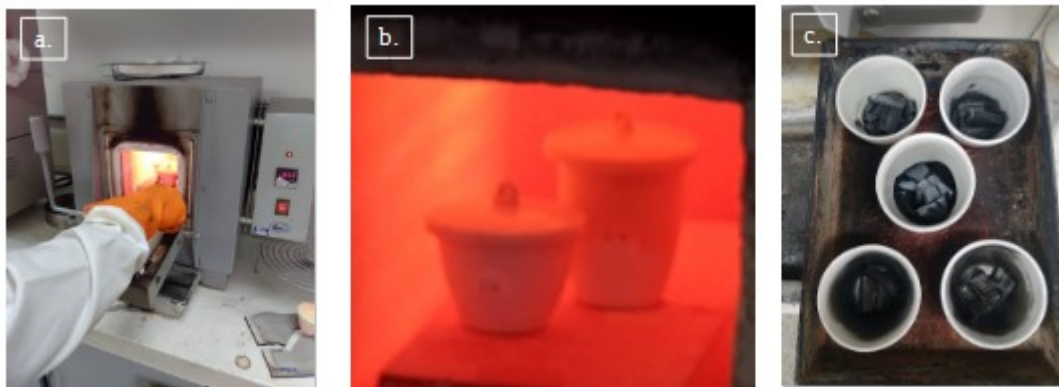


Fonte: o Autor, 2022

4.5 ANÁLISE IMEDIATA

Foram analisados o carvão e a biomassa dos bambus *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea* fisicamente (teor de umidade) e quimicamente (materiais voláteis, cinzas e carbono fixo) pelas normas ABNT (NBR 8112) e ASTM D3175-07, ASTM D3174-02 e ASTM D3172-89 com a utilização de um forno mufla modelo Zezimaq® disponibilizado no laboratório de Tratamento Térmico, do Grupo de Pesquisas em Materiais Estruturais e Funcionais da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Figura 19). A colocação dos cadinhos no forno deve ser feita com equipamentos de segurança individual, como luva, óculos de proteção e pinça, observados na Figura 19.a, de dois em dois (Figura 19.b) e o resultado do processo pode ser visto na Figura 19.c. As análises foram realizadas em triplicatas.

Figura 18: Processo de análise imediata do carvão dos bambus *Bambusa vulgaris* e *Phyllostachys aurea*, realizado em forno mufla modelo Zezimaq®, laboratório de Tratamento Térmico, do Grupo de Pesquisas em Materiais Estruturais e Funcionais da Universidade Estadual de Ponta Grossa (PR), para quantificar os teores de voláteis, cinzas e de carbono fixo dos carvões, 2022.



4.5.1 Teor de Umidade

O cálculo de teor de umidade foi realizado utilizando estufa a 105 °C (± 5). Primeiramente, com balança de alta precisão, cadinhos de porcelana foram pesados vazios. Em seguida, com a balança tarada, mediu-se as massas dos bambus úmidos e após uma hora e meia na estufa a 105 °C (± 5) as massas do cadinho mais bambu seco foram aferidos concluindo, assim, com a diferença entre bambu úmido e seco, o teor de umidade.

4.5.2 Determinação de Teor de Material Volátil

Após 48 h na estufa, o bambu seco foi levado ao forno mufla Zezimaq® aquecido a 980 °C para aferir o teor de materiais voláteis. Durante alguns segundos os cadinhos ficam aclimatando com a porta aberta da mufla e quando a temperatura atinge 950 °C eles são inseridos e fechados dentro do forno, onde ficam durante seis minutos. Esse tempo é suficiente para transformar em gás todo material volátil do carvão. Posteriormente a amostra deve ficar esfriando dentro de um dessecador para que não absorva umidade do ar e, por fim, através de diferença de massas, podemos calcular o teor de material volátil.

4.5.3 Determinação de Teor de Cinzas

Colocou-se o material proveniente da etapa anterior de secagem, sem umidade, em cadinho e foi colocado em forno mufla marca Zezimaq® a uma temperatura de 750 °C até que o carvão se queime completamente. O padrão buscado foi de duas horas, uma vez que os pedaços maiores de carvão demoraram mais para se transformar em cinza. Após o término do processo de combustão, retirou-se o cadinho do forno, colocou-o em dessecador para resfriamento, e por último verificou sua massa em balança de precisão.

4.5.4 Teor de Carbono Fixo

Foi determinado pela diferença entre as somas dos teores de umidade, matéria volátil, cinzas e 100%.

4.6 PODER CALORÍFICO ESTIMADO

O poder calorífico é um parâmetro importante para que se analise a capacidade de uma biomassa em liberar energia e calor durante a combustão. O poder calorífico superior (PCS) é a quantidade total de energia liberada na combustão completa por unidade de massa a volume constante, considerando que a água de formação e da umidade são condensadas (Equação 1). O poder calorífico inferior (PCI) é a quantidade de calor liberado na combustão por unidade de massa, isto porque a água formada na combustão do hidrogênio não é condensada (Equação 2). Já o poder calorífico útil (PCU) é a quantidade de calor liberada útil, quando se desconta a quantidade de calor utilizada para evaporar a água de formação e de umidade (Equação 3) (CORTEZ; LORA E GOMES, 2008).

$$PCS \left(\frac{kcal}{kg} \right) = 84,5104 \cdot \%CF + 37,2601 \cdot \%V - 1,8642 \cdot \%A \quad (Equação 1)$$

$$PCI \left(\frac{kcal}{kg} \right) = PCS - \left[600 \cdot \left(\frac{9 \cdot \%H}{100} \right) \right] \quad (\text{Equação 2})$$

$$PCU \left(\frac{kcal}{kg} \right) = PCI \cdot \left[\frac{(100 - \%U)}{100} \right] - (6 \cdot \%U) \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

PCS: poder calorífico superior, kcal/kg

PCI: poder calorífico inferior, kcal/kg

PCU: poder calorífico útil, kcal/kg

%CF: teor de carbono fixo, %

%V: teor de materiais voláteis, %

%A: teor de cinzas, %

%H: teor de hidrogênio determinado pela análise elementar, %

%U: teor de umidade, %

4.7 MASSA ESPECÍFICA

A densidade é obtida através do método do picnômetro (Figura 20), cujas etapas são: pesar a amostra, pesar o picnômetro completo com água, pesá-lo novamente com água e amostra, aferir a temperatura da água, calcular o volume deslocado de água pela amostra e calcular a densidade da amostra, nesta ordem.

Figura 19: Picnômetro, cadinhos de porcelana e balança de precisão.



Fonte: o autor 2023

4.8 ANÁLISE ELEMENTAR

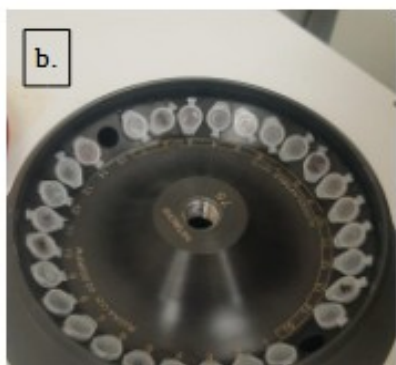
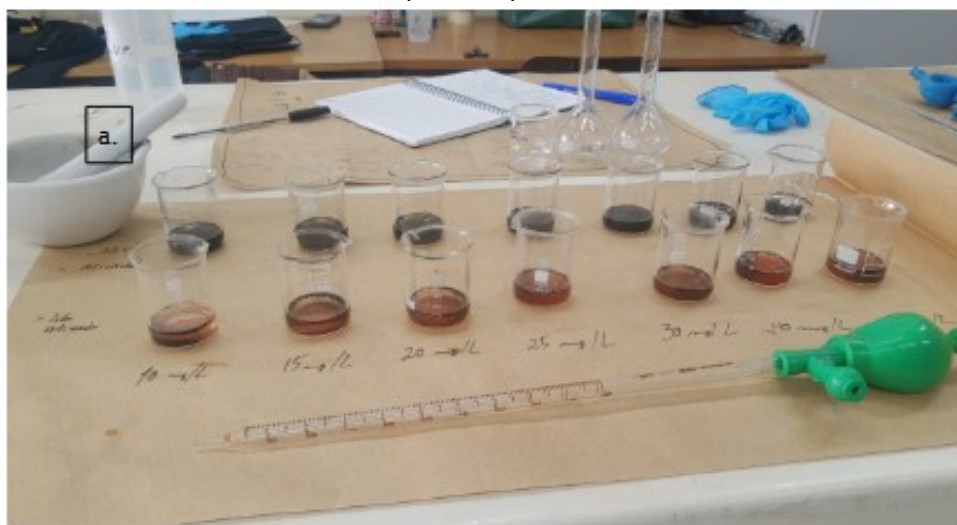
Composição elementar de uma biomassa é uma propriedade importante porque determina quão pura e eficiente uma biomassa é. A análise elementar, neste caso, foi feita a partir de estimativas baseadas em equações atingidas por Parikh, Channiwala e Ghosal (2006). O estudo utilizou 200 pontos de dados e posteriormente foi validada com outros 50 adicionais. O espectro inteiro de materiais lignocelulósicos sólidos foi considerado para se atingir tal correlação, que é: $C = 0,637CF + 0,455TMV$, $H = 0,052CF + 0,062TMV$, $O = 0,304CF + 0,476VM$, onde CF – 4,7–38,4% carbono fixo, TMV – 57,2–90,6% teor de material volátil, C – 36,2–53,1% carbono, H – 4,36–8,3% hidrogênio e O – 31,37–49,5% oxigênio. A média de erro absoluto destas correlações são 3,21%, 4,79%, 3,4% e viés de erro de 0,21%, 0,15% and 0,49% a respeito dos valores medidos de C, H e O, respectivamente. (PARIKH; CHANNIWALA; GHOSAL, 2006).

4.9 TESTE DE ADSORÇÃO COM CORANTE VERMELHO CONGO

De acordo com Afkhami e Moosavi (2010) e Axelson, Giorgadze e Yougberg (2008), Vermelho do Congo ou Vermelho Congo é o sal sódico do ácido benzidinodiazó-bis-1naftilamina-4-sulfônico, cuja fórmula molecular é $C_{32}H_{22}N_6Na_2O_6S_2$, de massa molar de 696,66 g/mol. Este corante possui forte resistência à degradação química e microbiana (BHAUMIK *et al.* 2013).

A fim de aferir a capacidade de adsorção dos carvões através da espectroscopia de absorbância na região do UV-Vis, foram pesadas sete amostras com 0,03 g de carvão cada misturados em solução de Vermelho Congo diluído em água nas concentrações de 10, 15, 20, 25, 30, 40 e 50 mg/L. O teste foi repetido para as amostras de carvão ativado. Após 24h de adsorção, o líquido é colocado em tubo de centrífuga, centrifugado por cinco minutos e levado ao equipamento de espectroscopia de absorbância na região do UV-Vis Varian Cary 50 conc. A Figura 21 ilustra as etapas de preparo deste processo. Na Figura 21.a temos materiais utilizados para a dosagem das concentrações de corante, em 21.b, os tubos de centrífuga dispostos de forma equilibrada na centrífuga e na Figura 21.c os parâmetros de tempo e rotação utilizados.

Figura 20: a. Beckers com carvão e corante diluído em diferentes proporções, b. eppendorfs posicionados na centrífuga, c. painel da centrífuga com velocidade, tempo e temperatura.



Fonte: o autor, 2023

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 BIOMASSA

Da biomassa pôde-se estudar a percentagem de umidade em cada uma das amostras e, com ela, a densidade aparente, buscando traçar relações entre quantidade de água e capacidade de adsorção.

5.1.1 Conteúdo de Água

A percentagem de conteúdo de água (Tabela 3), que foi menor na base (até 75cm) do bambu *Phyllostachys aurea* e maior na base (até 75cm) do bambu *Bambusa vulgaris*, indica que este tem maior potencial de permitir espaços vazios que aquele.

Tabela 3: Percentagem de umidade das amostras de biomassa

	Amostra	Bambu Úmido (g)	Bambu Seco (g)	% Umidade
Phyllostachys Aurea (base)	A1	5,5155	3,2678	40,75
	A2	7,8347	4,6381	40,80
	A3	8,0342	4,8710	39,37
	Am			40,31
Phyllostachys Aurea (meio)	B1	5,0410	2,3723	52,94
	B2	7,7186	3,6228	53,06
	B3	9,6822	4,4621	53,91
	Bm			53,31
Bambusa Vulgaris (base)	C1	11,3743	5,0452	55,64
	C2	10,6699	4,6488	56,43
	C3	15,3965	6,4812	57,90
	Cm			56,66
Bambusa Vulgaris (meio)	D1	5,8976	2,7311	53,69
	D2	6,3568	3,1289	50,78
	D3	5,4065	2,6132	51,67
	Dm			52,05

Fonte: o autor, 2023

5.2 CARVÃO NÃO ATIVADO

5.2.1 Análise Imediata

Com a análise imediata (Tabela 4) percebe-se como é grande a presença de voláteis na biomassa de bambu como um todo, variando de 79,94% a 83,58%. Estes números são significativos e expressam, mais uma vez, que o carvão de bambu tem potencial para apresentar uma área superficial interessante em se tratando de filtro.

Tabela 4: Análise imediata das amostras de biomassa sendo TMV o teor de material volátil, TCZ o teor de cinza e TCF o teor de carbono fixo

	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)
<i>Phyllostachys aurea</i> (base ~ 75cm)	80,65	0,73	18,61
	79,71	1,18	19,11
	79,47	1,01	19,52
	79,94	0,98	19,08
<i>Phyllostachys aurea</i> (meio: 1m +- 25cm)	84,74	2,48	12,78
	81,74	2,27	15,98
	79,86	2,39	17,75
	82,11	2,38	15,50
<i>Bambusa vulgaris</i> (base ~ 75cm)	80,19	1,10	18,72
	80,91	1,34	17,74
	80,24	1,40	18,36
	80,45	1,28	18,28
<i>Bambusa vulgaris</i> 1m +- 25cm)	83,07	0,87	16,06
	84,10	1,04	14,86
	83,56	1,83	14,61
	83,58	1,25	15,18

Fonte: o autor, 2023

Os teores de material volátil (TVM), de cinza (TCZ) e de carbono fixo (TCF) foram atingidos em triplicata e se aproximam dos valores encontrados na literatura. O bambu *Phyllostachys aurea*, que na base (até 75cm) tem 79,94% de teor de materiais voláteis e 19,08% de teor de carbono fixo e no meio (1m +-25cm) tem 82,11% de teor de materiais voláteis e 15,50% de teor de carbono fixo, apresentou valores semelhantes ao trabalho de Campos, (2017), com 80,17% de TVM e 19,34% TCF de um bambu de mesma espécie.

Experimentos realizados no presente trabalho mostram que os teores do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* são mais altos em materiais voláteis (80,45% na base e 83,58% na altura de 1m (+25cm)) e mais baixos em carbono fixo (18,28% na base e 15,18% na altura de 1m (+25cm)), do que o *Phyllostachys aurea* utilizado.

Valores de teor de material volátil de ambas espécies do presente trabalho são maiores se comparados a teores de outras espécies de bambu encontradas na literatura, como *Chusquea gracilis*, cujo valor é de 77,64%, *Merostachys multiramea*, com 74,87% e *Chusquea mimosa*, de 71,42% (Campos, 2017). Já o teor de carbono fixo, que de acordo com SETTE *et al.*, 2016, mostra-se inversamente proporcional ao de material volátil, tem como espécie de maior valor o *C. mimosa* (23,68%), seguido pelos bambus *M. multiramea* (21,18%), *C. gracilis* (19,59%), *P. aurea* da literatura (Campos, 2017) (19,34%), e base de *P. aurea* (19,08%), base de *B. vulgaris* (18,28%), meio de *P. aurea* (15,50%) e meio de *B. vulgaris* (15,18%), do presente trabalho.

Com relação aos teores de cinza, que chega a variar de 0,49% (Campos, 2017) a 10% (Costa, 2014), obteve-se uma oscilação baixa neste trabalho, com o menor sendo de 0,98% da base do *Phyllostachys aurea* e maior de 2,38% do meio desta mesma espécie. Os valores de teor de cinza do bambu *Bambusa vulgaris* foram de 0,03% entre a base (1,28%) e a cota 1m (+25cm) (1,25%), todos compatíveis com valores trazidos pela literatura.

5.2.2 Análise Elementar Estimada

Ao estimar-se a composição elementar das biomassas, observa-se uma concentração maior de carbono nas bases dos dois tipos de bambus, se comparados aos seus meios (Tabela 5).

Tabela 5: Análise elementar estimada das amostras da biomassa

	TMV (%)	TCZ (%)	TCF (%)	C	H	O
<i>Phyllostachys aurea</i> (base ~ 75cm)	80,65	0,73	18,61	48,55	5,97	44,05
	79,71	1,18	19,11	48,44	5,94	43,75
	79,47	1,01	19,52	48,59	5,94	43,76
	79,94	0,98	19,08	48,53	5,95	43,85
<i>Phyllostachys aurea</i> (meio: 1m +- 25cm)	84,74	2,48	12,78	46,70	5,92	44,22
	81,74	2,27	15,98	47,37	5,90	43,77
	79,86	2,39	17,75	47,64	5,87	43,41
	82,11	2,38	15,50	47,24	5,90	43,80
<i>Bambusa vulgaris</i> (base ~ 75cm)	80,19	1,10	18,72	48,41	5,94	43,86
	80,91	1,34	17,74	48,12	5,94	43,91
	80,24	1,40	18,36	48,21	5,93	43,78
	80,45	1,28	18,28	48,24	5,94	43,85
<i>Bambusa vulgaris</i> 1m +- 25cm)	83,07	0,87	16,06	48,03	5,99	44,42
	84,10	1,04	14,86	47,73	5,99	44,55
	83,56	1,83	14,61	47,32	5,94	44,22
	83,58	1,25	15,18	47,69	5,97	44,40

Fonte: o autor, 2023

5.2.3 Poder Calorífico Estimado

O poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) das biomassas estudadas foram maiores nas partes da base, se comparado as partes do meio, dos bambus utilizados neste trabalho (Tabela 6). Quando comparado a outras biomassas, o bambu se mostra bastante semelhante a outros materiais lignocelulósicos, como casca de pinos, com PCS de 4391, PCI de 4068 e PCU de 1730 e cavacos, com PCS de 4387, PCI de 4064 e PCU de 1758, superior a fibras e fiapos, de PCS de 4054, PCI de 3730 e PCU de 671 e inferior ao coque, de origem betuminosa, com PCS de 5461, PCI de 5137 e PCU de 4419 (MENEZES, 2013).

Tabela 6: Poder calorífico das amostras de biomassa

	PCS	PCI	PCU
<i>Phyllostachys aurea</i> (base ~ 75cm)	4576,69	4254,40	2276,12
	4582,70	4262,17	2278,38
	4608,62	4287,75	2363,36
	4589,34	4268,11	2305,86
<i>Phyllostachys aurea</i> (meio: 1m +- 25cm)	4232,77	3913,18	1523,91
	4392,18	4073,63	1593,61
	4471,21	4153,99	1590,91
	4365,39	4046,94	1569,83
<i>Bambusa vulgaris</i> (base ~ 75cm)	4567,42	4246,41	1549,68
	4511,92	4191,20	1487,49
	4539,08	4218,87	1428,52
	4539,47	4218,82	1488,49
<i>Bambusa vulgaris</i> 1m +- 25cm)	4451,05	4127,83	1589,39
	4387,43	4064,13	1695,75
	4344,46	4023,69	1634,83
	4394,31	4071,88	1640,39

Fonte: o autor, 2023

5.2.4 Área Superficial Específica para o Carvão Não Ativado

Realizadas em duplicata, as medições de área superficial específica (BET) dos carvões não ativados foram as primeiras a serem aferidas e, dentre elas, aquela cujo carvão obteve melhor resultado de área superficial foi o *Bambusa vulgaris*, para a amostra obtida da base (~ 75 cm) ($189,880 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$), seguido pelo *Bambusa vulgaris* para a amostra obtida na altura de 1 m (+- 25 cm) ($119,479 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$), *Phyllostachys aurea*, para a amostra obtida da base ($94,434 \text{ m}^2/\text{g}$) e *Phyllostachys aurea*, para a amostra obtida na altura de 1 m (+- 25 cm) ($66,606 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) (Tabela 7).

Os valores de área superficial do carvão de bambu *P. aurea*, não ativado, pode ser comparado aos resultados com carvão de casca de jerivá, de $26,64 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ (DALZZOTO, 2019). Já o carvão de bambu *B. vulgaris*, não ativado, tem uma média de área superficial comparável à argila do Vale de Paraíba, de $106 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, a qual obteve resultado eficiente no tratamento de chumbo (Pb) em efluente (TOMASELLA *et al.*, 2015). Estas comparações demonstram um potencial do carvão de bambu como material adsorvente.

Tabela 7: Área superficial específica e tamanho dos poros para o carvão não ativado

	BET ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)	BJH (nm)
<i>Phyllostachys aurea</i> (base ~ 75cm)	94,434	1,659
<i>Phyllostachys aurea</i> (1m +- 25cm)	66,606	1,662
<i>Bambusa vulgaris</i> (base ~ 75cm)	189,880	1,662
<i>Bambusa vulgaris</i> (1m +- 25cm)	119,479	1,663

Fonte: o autor, 2023

5.3 CARVÃO COM ATIVAÇÃO QUÍMICA DE UREIA

5.3.1 Área Superficial Específica para o Carvão Ativado Com Ureia

Com medidas em duplicata, realizada a ativação química com ureia, o que se observou foi, mais uma vez, o *Bambusa vulgaris*, para a amostra obtida da base sendo o de maior área superficial ($296,420 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$), seguido por *Bambusa vulgaris*, para a amostra obtida na altura de 1 m (+- 25 cm) ($168,421 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$), *Phyllostachys aurea* da base ($131,650 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) e, por último, *Phyllostachys aurea*, para a amostra obtida na altura de 1 m (+- 25 cm) ($87,019 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) (Tabela 8).

Tabela 8: Área superficial específica e tamanho dos poros para o carvão ativado com ureia

	BET ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)	BJH (nm)
<i>Phyllostachys Aurea</i> (base ~ 75cm)	131,650	1,880
<i>Phyllostachys aurea</i> (1m +- 25cm)	87,019	1,880
<i>Bambusa vulgaris</i> (base ~ 75cm)	296,420	1,655
<i>Bambusa vulgaris</i> (1m +- 25cm)	168,421	1,654

Fonte: o autor, 2023

O carvão de bambu *B. vulgaris*, obtido da porção da base, ativado com ureia, com $296 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ de área superficial, quase alcançou resultados de estudos realizados com carvão ativado de casca de nozes, que possui área superficial de $427 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ (de Costa, P. D., 2015). Isso demonstra como a ativação com ureia foi eficiente no aumento da quantidade e tamanho de poros do carvão.

5.4 CARVÃO COM ATIVAÇÃO QUÍMICA DE NITRATO DE FERRO(III)

5.4.1 Área Superficial Específica para o Carvão Ativado

A ativação com nitrato de ferro(III) foi a que apresentou valores mais expressivos com relação ao aumento da área superficial. Como média de aferições em duplicata, *Bambusa vulgaris*, para a amostra obtida da base, mais uma vez, liderou dentre as quatro amostras, com $260,375 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, seguido pelo *Bambusa vulgaris*, para a amostra obtida na altura de 1 m (+ - 25 cm) ($172,995 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$), *Phyllostachys aurea*, para a amostra obtida da base ($152,132 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) e *Phyllostachys aurea*, para a amostra obtida na altura de 1 m (+ - 25 cm) ($124,370 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$) (Tabela 9).

Tabela 9: Área superficial específica e tamanho dos poros para o carvão ativado com nitrato de ferro (III).

	BET (m^2/cm)	BJH (nm)
<i>Phyllostachys aurea</i> (base ~ 75cm)	152,132	1,883
<i>Phyllostachys aurea</i> (1m +- 25cm)	124,370	1,875
<i>Bambusa vulgaris</i> (base ~ 75cm)	260,375	1,660
<i>Bambusa vulgaris</i> (1m +- 25cm)	172,995	1,658

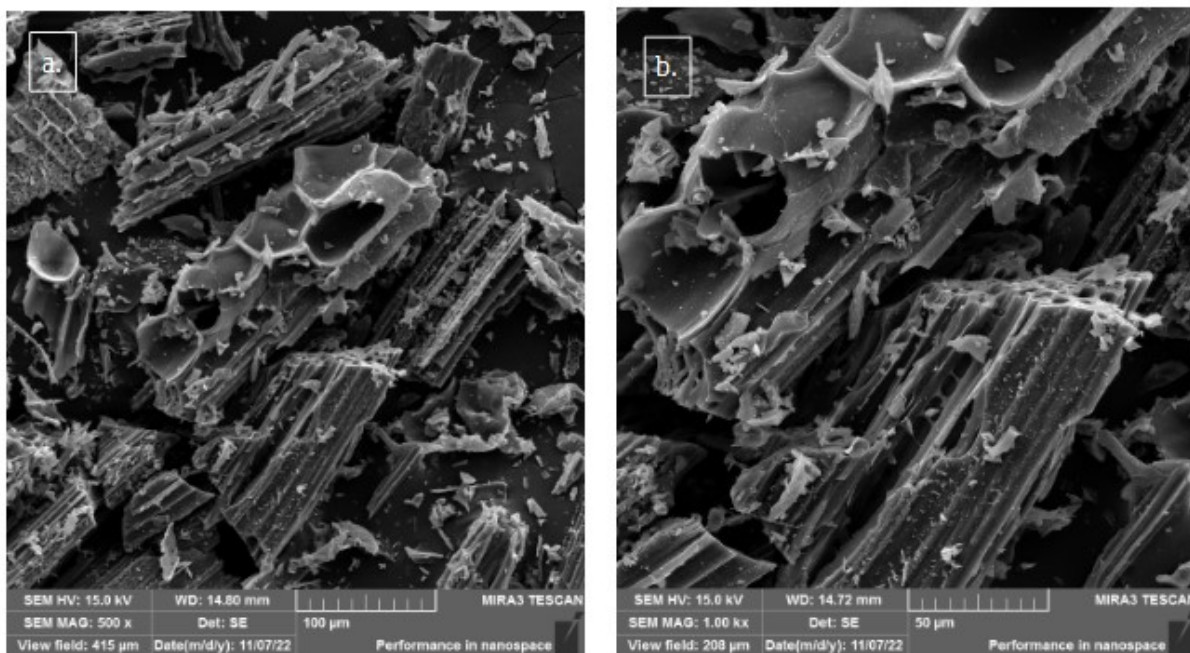
Fonte: o autor, 2023

O carvão *B. vulgaris* obtido da base, mais uma vez, destaca-se dos demais. Com $260 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$, superou estudos realizados com carvão de casca de arroz, que atingiu $180 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$ (Sharma, Y. C., 2011). Isso demonstra como a ativação com nitrato de ferro (III) foi eficiente no aumento de quantidade de poros do carvão.

5.5 MEV-FEG

As imagens obtidas através do equipamento MEV- FEG, apresentadas na Figura 22, foram selecionadas para detalhar os poros transversais à estrutura do carvão. Podemos observar que há grande variedade no tamanho dos poros e uma certa irregularidade na forma em que estão dispostos.

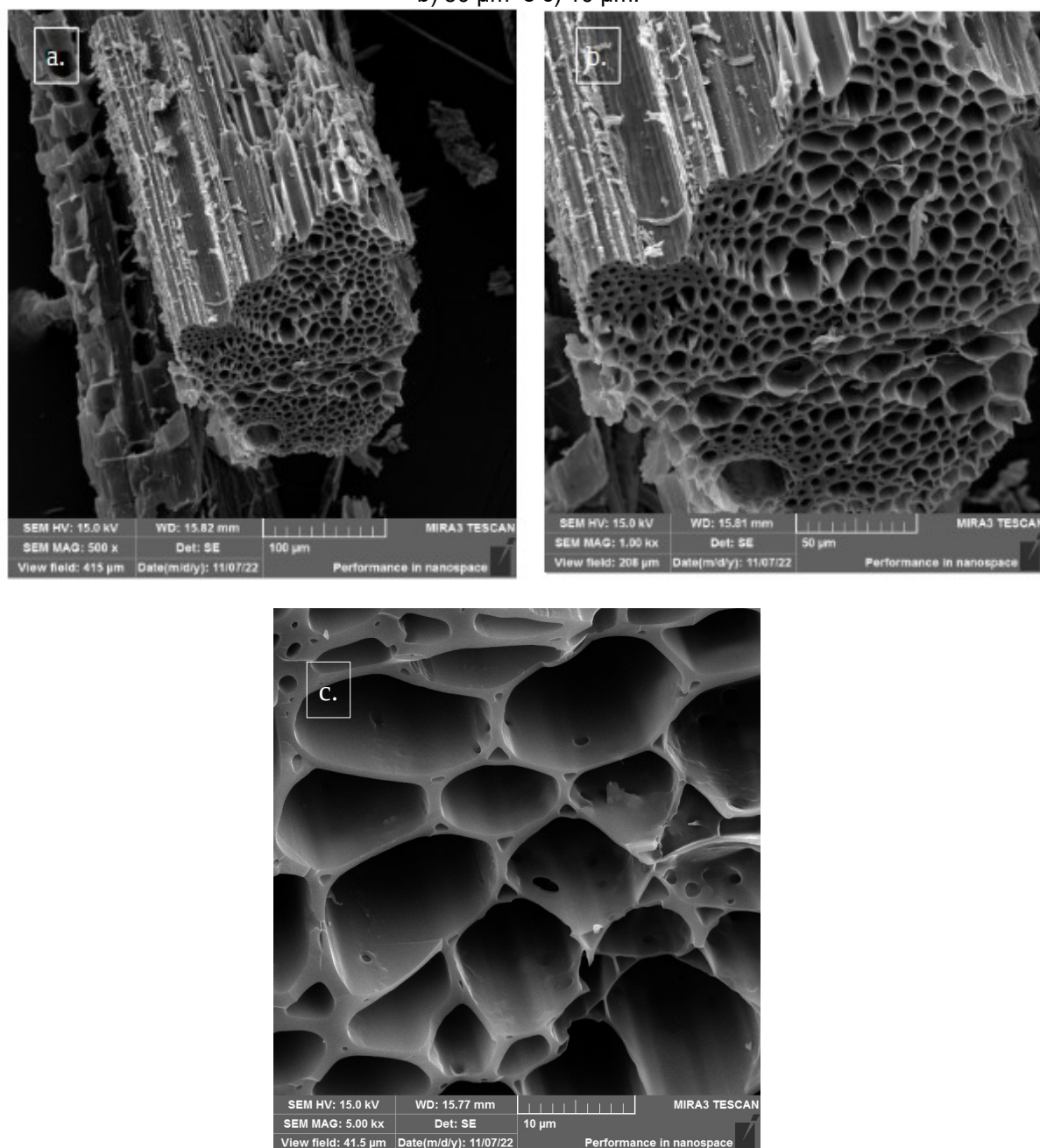
Figura 21: Detalhamento de poros transversais ao sentido da estrutura do bambu nas escalas de: a. 100 μm , b. 50 μm e c. 20 μm .



Fonte: o autor, 2022

Diferentemente dos poros transversais, os poros longitudinais demonstram uma melhor ordem em tamanho e disposição. Além disso, é possível observar que há menor suscetibilidade de contaminantes impregnarem nestes àqueles, (Figura 23).

Figura 22: Poros longitudinais no carvão ativado com nitrato de ferro(III) nas escalas de: a) 100 μm , b) 50 μm e c) 10 μm .



Fonte: o autor, 2022

5.6 DENSIDADE POR PICNÔMETRO

Através do método que utiliza picnômetro, as densidades das diferentes amostras foram determinadas (Tabela 5) e o carvão oriundo do bambu *Bambusa vulgaris*, na base, é o que apresenta maior densidade ($0,5684 \text{ g.cm}^{-3}$), seguido pelo *Phyllostachys aurea* da base ($0,5157 \text{ g.cm}^{-3}$), *Bambusa vulgaris* do meio ($0,4956 \text{ g.cm}^{-3}$) e, por último, *Phyllostachys aurea* do meio ($0,4029 \text{ g.cm}^{-3}$).

Tabela 10: Densidade dos carvões através do método do picnômetro

	Carvão (g)	Picnômetro Com água (g)	Picnômetro Carvão + água (g)	Temp água (°C)	ρ água (g/cm ³)	Volume Água (cm ³)	ρ carvão (g/cm ³)
Phyllostachys Aurea (base)	1,3787	172,0705	170,7814	22,3	0,9978	2,6737	0,5157
Phyllostachys Aurea (meio)	1,6028	172,0716	169,7054	22,2	0,9978	3,9778	0,4029
Bambusa Vulgaris (base)	1,2469	172,0755	171,1325	20,0	0,9982	2,1938	0,5684
Bambusa Vulgaris (meio)	1,1373	172,0611	170,9084	21,8	0,9978	2,2950	0,4956

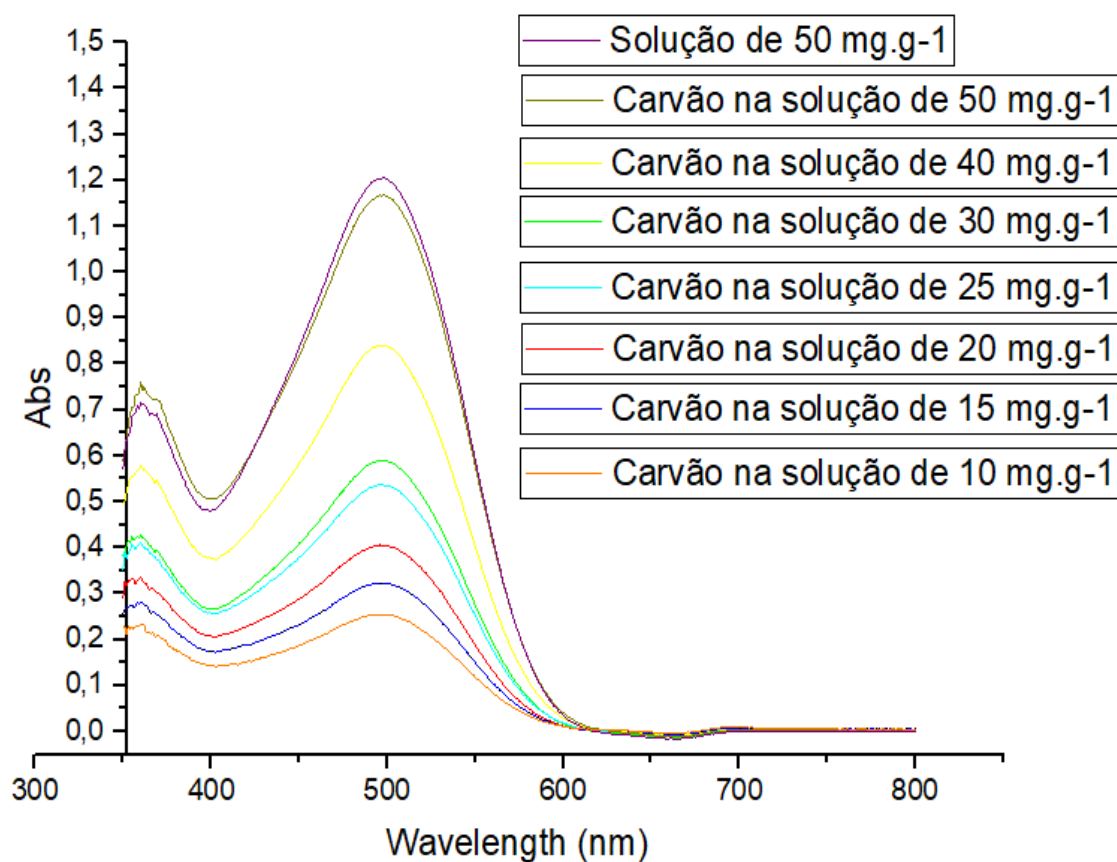
Fonte: o autor, 2023

O estudo de densidade do *B. vulgaris* do presente trabalho é coerente aos valores encontrados na literatura, que variam de $0,43$ a $0,76 \text{ g.cm}^{-3}$ (TOMAZELLO *et al.*, 1988). Valores de densidade de *P. aurea* do presente trabalho ficaram próximos a valores encontrados na literatura, que se aproximam de $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ (BERALDO *et al.*, 1995).

5.7 ANÁLISE DE ADSORÇÃO DE VERMELHO CONGO

Para os ensaios em laboratório utilizando corante vermelho congo foram estipuladas curvas de calibração obtendo-se uma obediência à lei de Beer-Lambert na faixa de concentrações estudadas – Utilizou-se a curva de calibração para determinar a concentração das soluções de origem ($10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 \text{ mg.g}^{-1}$) após a adsorção em carvão não ativado, com dados analisados em espectrofotômetro UV/Vis, em intervalo de 340 a 800 nm (Figura 24).

Figura 23: UV-Vis de 340 a 800 nm de carvão não ativado.



Fonte: o autor, 2023

Os resultados mostram a solução de 50 mg.g⁻¹, sem carvão, com 1,21 de absorbância e 1,16 com a mesma quantidade de corante na solução porém com carvão, o que representa 4% de diferença.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Concluiu-se que o carvão de bambu *Bambusa vulgaris* da base, o mais denso dentre as amostras estudadas neste trabalho, quando ativado com Ureia, é o que apresenta maior área superficial e melhor potencial como material adsorvente.

A partir da sintetização de carvões em mufla, concluiu-se que a ativação com nitrato de ferro (III) foi a que melhor influenciou, de um modo geral, o aumento de área superficial nos diferentes carvões estudados. No entanto, foi a ativação química com ureia que atingiu a melhor área superficial dentre todas as amostras estudadas. As ativações químicas foram melhores do que não fazer ativação no carvão. Testes com corante vermelho congo corroboram que o carvão possui potencial adsorvedor em fluidos.

No presente trabalho, observou-se que a amostra de biomassa mais densa foi a que apresentou melhores áreas superficiais em todo processo, traçando assim, um paralelo importante entre massa específica e capacidade de adsorção, que requer estudo mais profundo. Por fim, embora o carvão de bambu deste trabalho não tenha sido capaz de superar materiais adsorvedores atualmente utilizados em filtros, como Alphacarbo® e outros já citados, outras espécies desta biomassa combinadas a outras formas de ativação devem ser testadas para que se tenham conclusões mais profundas sobre utilização de carvões de bambu em filtros.

REFERÊNCIAS

- ABIOGAS. **Produção de biogás com rejeitos de porcos avança no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/producao-de-biogas-com-rejeitos-de-porcos-avanca-no-brasil/>. Acesso em: 03 mar. 2023.
- ABIEPCS. Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. **Relatório ABIEPCS** 2008. Disponível em: <<http://www.abiepcs.org.br>>. Acesso em 01/12/2022.
- AFKHAMI, Abbas; MOOSAVI, Razieh. Adsorptive removal of Congo red, a carcinogenic textile dye, from aqueous solutions by maghemite nanoparticles. **Journal of hazardous materials**, v. 174, n. 1-3, p. 398-403, 2010.
- AXELSON, G.K; GIORGADZE, T; YOUNGBERG, G.A. Evaluation of the use of Congo red staining in the differential diagnosis of Candida vs. various other yeast-form fungal organisms. **Journal of Cutaneous Pathology**. v.35, p.27-30, 2008.
- BRASIL. **LEI Nº 14.134, DE 8 DE ABRIL DE 2021. Normas para a exploração das atividades econômicas de transporte de gás natural**. 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Lei/L14134.htm. Acesso em: 03 mar. 2023.
- CAMPOS, R. F. de. **Potencial energético da biomassa e do carvão de espécies de bambu**. 2017, 81f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Bioenergia, Universidade Estadual Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.
- CASTELO BRANCO, L. M. **Produção de mudas a partir de rizomas de bambusa vulgaris sob irrigação com água salina**. 2016. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- CIBIOGAS. **BIOGÁS NO BRASIL, HISTÓRIA E PERSPECTIVA DE FUTURO**. 2021. Disponível em: <https://cibiogas.org/blog/biogas-no-brasil-historia-e-perspectiva-de-futuro/>. Acesso em: 03 mar. 2023.
- COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CORTEZ, L. A. B., LORA, E. E. S., GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. São Paulo: UNICAMP, 2008.
- DALZOTO, LUCAS MARTINS; GARCIA, LUIZ CLÁUDIO; SOUZA, EDER CARLOS FERREIRA DE; FILHO, RENATO ZARDO; ANTUNES, SANDRA REGINA MASETTO; ARRÚA, MARIA ELENA PAYRET; WEIRICH NETO, PEDRO HENRIQUE; GOMES, JAIME ALBERTI; SOUZA, NÁTALI MAIDL DE; ROCHA, CARLOS HUGO. **Filter Performance in the Reduction of Hydrogen Sulfide in Biogas**. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED ENGINEERING RESEARCH AND SCIENCE, v. 6, p. 16-24, 2019

DELGADO, P. S. **O bambu como material eco-eficiente : caracterização e estudos exploratórios de aplicações**. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. EMBRAPA. Suínos e Aves. **Calculadora BiogásFORT®**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/calculadora>. Acesso em: 03 mar. 2023.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Poaceae**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB105397>>. Acesso em: 05 maio, 2023.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Bambusa**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB105397>>. Acesso em: 05 maio, 2023.

FONSECA, D.S. e BACIC, I.R. **Enxofre**. In: RODRIGUES, A.F.S., ed. Economia mineral do Brasil. 2.ed. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, p.126-141. 2009.

HOLM-NIELSEN, J. B., AL SEADI, T., OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogás utilization. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5478-5484, novembro, 2009.

HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo the gift of the gods**. D'Vinni Ltda: Bogotá, 2003.

MAINIER, F. B. e VIOLA, E. D. M. **O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente**. Universidade Federal Fluminense e INMETRO/LATEC (UFF). II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2005.

MATIAS, A. E. B. **Desenvolvimento e caracterização de sensores quimicamente modificados para análise de sulfeto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 37p, 2010.

MONTELEONE, G., et al. Deep H₂S removal from biogas for molten carbonate fuel cell (MCFC) systems. **Chemical Engineering Journal**, vol. 173, p. 407-414, 2011.

MACHADO, N. C., DA SILVA, J. N., DE OLIVEIRA, M. V. M., COSTA, J. M., BORGES, A. C. Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás da fermentação anaeróbia de dejetos de suínos utilizando óxido de ferro, hidróxido de cálcio e carvão vegetal. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 30, p. 344-356, 2015.

MENEZES, M. J. S. **Poder calorífico e análise imediata da maravalha de Pinus (Pinus sp) e Araucária (Araucária angustifolia) de reflorestamento como resíduos de madeira**. 2013. 65 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura). Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, UNIOESTE - Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, PR.

MIELE, Marcelo *et al.* O desenvolvimento da suinocultura brasileira nos últimas 35 anos. In: SOUZA, J. C. P. V. B. **Sonho, Desafio e Tecnologia: 35 anos de**

contribuição da embrapa suínos e aves. Nao: Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. Cap. 3. p. 85-102.

MME. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020**: ano base 2019. 2020.

Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202020.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2022.

MME. **Balanco Energético Nacional**: relatório síntese. 2022. Disponível em:

Disponível em:

https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 01 nov. 2022.

OLIVEIRA, R. L. M de. **Instrumentação e análise térmica do processo de produção de carvão vegetal**. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, 2009.

ONS. **Relatório Anual 2022**. 2022. Disponível em:

<https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/Relat%C3%B3rio%20Anual%20ONS%202022.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2022.

ONU. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**. 2022. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/pd/content/World-Population-Prospects-2022>. Acesso em: 01 nov. 2022.

PANT, M. M.; VARMA, J.C. Production and utilization of bamboos. **Indian Forester**, Dehra Dun, v. 107, n. 8, p. 465-476, 1981.

PARANÁ. Agência Estadual de Notícias. Agricultura e Abastecimento. **Paraná ganha o maior frigorífico de suínos da América Latina**. 2022. Disponível em:

<https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Parana-ganha-o-maior-frigorifico-de-suinos-da-America-Latina>. Acesso em: 05 jan. 2023.

PARK, Se Hwi *et al*. Fuel Properties of Indonesian Bamboo Carbonized at Different Temperatures. **Bioresources**, v. 14, n. 2, p. 4224-4235, 2019.

PARIKH, J; CHANNIWALA, S; GHOSAL, G. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, [S.L.], v. 84, n. 5, p. 487-494, mar. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.010>.

PETERSSON, A., THOMSEN, M. H., HAUGGAARD-NIELSEN, H. Potencial bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape, and faba bean. **National Laboratory**, box. 49, Denmark, 2007.

PETERSSON, M., WELLINGER, A. Biogas Upgradings Technologies – Developments and Innovation. **IEA Bioenergy**, 2009.

RITTER, C.M.; SANTOS, F. R.; CURTI, S. M. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina.

Revista Tópos, v. 7,n. 1, p. 32-40, 2013.

SANTANA, G. M. **Carvão Ativado de Bambu o que você sabe sobre ele Entrevistamos doutores no assunto**. 2016. Disponível em: <http://assessoria.vrc.puc-rio.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=46729&sid=89>. Acesso em: 03 mar. 2023.

SASSE, L. **Biogas Plants. Publication of the Deutsches Zentrum fur Entwicklungstechnologien – GATE**. Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, 1988.

SILVA, C. L., RABELO, J. M. O., BOLLMANN, H. A. **Energia no Lixo: Uma avaliação da viabilidade do uso do biogás a partir de resíduos sólidos urbanos**. IV Encontro Nacional da Anppas – Brasília, 2008.

ZHAO, Q. *et al.* Purification Technologies for Biogas Generated by Anaerobic Digestion. **CSANR Research Report**, v.1, Ch. 9, Climate Friendly Farming. 24 p. 2010.