



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

IVONEIDE SANTANA SOBRAL

**PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E
CARVÃO ATIVADO FUNCIONALIZADO DO *Cocos nucifera*
ASSOCIADO A *Pseudomonas aeruginosa* EM DIFERENTES
TRATAMENTOS DE ÁGUAS RESIDUAIS**

Salvador
2024

IVONEIDE SANTANA SOBRAL

**PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE CARVÃO ATIVADO E
CARVÃO ATIVADO FUNCIONALIZADO DO *Cocos nucifera*
ASSOCIADO A *Pseudomonas aeruginosa* EM DIFERENTES
TRATAMENTOS DE ÁGUAS RESIDUAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia da Universidade Federal da Bahia como requisito para obtenção do grau de Doutora em Biotecnologia Industrial e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando de Almeida.
Coorientadoras: Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Rangel Santos Varela.
Prof.^a Dr.^a Sirlene Barbosa Lima.

Salvador
2024

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI/UFBA),
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Santana Sobral, Ivoneide
Produção e aplicação de carvão ativado e carvão
ativado funcionalizado do Cocos nucifera associado a
Pseudomonas aeruginosa em diferentes tratamentos de
águas residuais / Ivoneide Santana Sobral. --
Salvador, 2024.
196 f. : il

Orientador: Paulo Fernando de Almeida.
Coorientadora: Maria do Carmo/Sirlene Rangel
Santos Varela/Barbosa Lima.
Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em
Biotecnologia) -- Universidade Federal da Bahia,
Universidade Federal da Bahia, 2024.

1. Mesocarpo do Cocos nucifera. 2. Carvão ativado.
3. Carvão ativado funcionalizado. 4. Pseudomonas
aeruginosa. 5. Adsorção. I. Fernando de Almeida,
Paulo. II. Rangel Santos Varela/Barbosa Lima, Maria
do Carmo/Sirlene. III. Título.

Folha de Aprovação

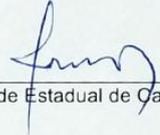
IVONEIDE SANTANA SOBRAL

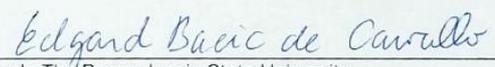
ADSORÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO CAMARAJIPE E IMOBILIZAÇÃO DE *Pseudomonas aeruginosa* EM CARVÃO ATIVADO E CARVÃO ATIVADO FUNCIONALIZADO DO *Cocos nucifera*

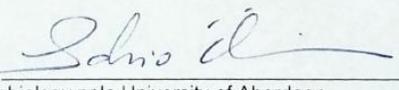
Tese apresentada como requisito para obtenção do grau de Doutor em Biotecnologia pelo Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Bahia.

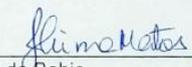
Aprovada em 27 de agosto de 2024.

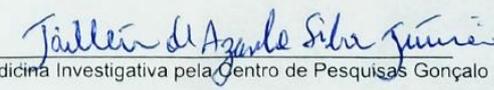
BANCA EXAMINADORA:

Paulo Fernando de Almeida (orientador) 
Doutor em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas,
UNICAMP, Brasil.
Universidade Federal da Bahia.

Edgard Bacic de Carvalho 
Doutor em Engenharia Química pela The Pennsylvania State University,
PSU, Estados Unidos.
Instituto Federal da Bahia.

Fábio Alexandre Chinalia 
Doutor em Environmental Microbiology pela University of Aberdeen,
ABDN, Escócia.
Universidade Federal da Bahia.

Josilene Borges Torres Lima Matos 
Doutora em Imunologia pela Universidade Federal da Bahia,
UFBA, Brasil.
Universidade Federal da Bahia.

Jailton de Azevedo Silva Junior 
Doutor em Biotecnologia em Saúde e Medicina Investigativa pelo Centro de Pesquisas Gonçalo
Moniz - FIOCRUZ,
CPQGM, Brasil.
Universidade Federal da Bahia.

“Quando alguém encontra seu caminho, precisa ter coragem suficiente para dar passos errados. As decepções, as derrotas, o desânimo são ferramentas que Deus utiliza para mostrar o caminho. Nestes momentos, o apoio, o incentivo, o amor e a compreensão nos dão força para continuarmos”. Por estarem sempre caminhando ao meu lado, dedico este trabalho aos meus pais, Antonio e Maridete e aos meus irmãos Sidnei e Eliomara.

AGRADECIMENTOS

São muitos e necessários ao longo de todo um trabalho acadêmico...

A Deus, em sua infinita sabedoria, ao criar um mundo com criaturas curiosas e sempre em busca de conhecimento.

Aos meus pais, Antonio e Maridete e meus irmãos Sidnei e Eliomara pelo incentivo, proteção e carinho que me proporcionaram não só nesta etapa da minha vida, mas em todos os momentos.

Ao Prof. Paulo Fernando de Almeida, um orientador que sempre demonstrou interesse e empolgação por nosso projeto. Como resumir o Prof. Paulo? Um inovador.

À Prof.^a Maria do Carmo Rangel, por seu carinho e incentivo.

À Prof.^a Sirlene Barbosa Lima, muito mais que coorientadora, uma amiga especial e presente em todos os momentos.

Ao Prof. Gustavo, que foi essencial nos momentos de dúvida e no avanço da nossa pesquisa na etapa dos ensaios com os microrganismos.

À Prof.^a Josilene, Prof. Jailton e Prof. Fábio, pelo carinho e atenção. Mestres que sempre pude recorrer quando necessário.

Aos integrantes do grupo LABEM pelo apoio incondicional. Apesar de ser uma novata no grupo LABEM. Agradeço especialmente à Caroline, Davi e Rodrigo. Aos alunos de iniciação científica Lucas, Maria Clara, Nathalia e Rayane, pelo carinho e ajuda na realização desse trabalho.

Aos técnicos Elias e Tenilson e o Coordenador Prof. Marcus do Laboratório LAMUME/IF pelas análises de microscopia.

Ao Prof. Dr. Raildo A. F. Júnior, LABCAT/IQ, pelas análises das amostras no DRX.

Ao meu amigo, Erlan Pacheco, essencial na finalização deste trabalho. Agradeço o apoio na execução das análises e processamento das amostras.

Ao meu Chefe Imediato, Claudio de Santana, por sua compreensão nos momentos em que necessitei me ausentar do Instituto de Química.

A todos que não foram citados, mas que contribuíram de maneira direta ou indireta para a conclusão deste trabalho.

Ao Inema, instituto pertencente ao Governo do Estado da Bahia. Agradeço por auxiliarem na primeira coleta no rio Camarajipe.

A todas as agências de fomento à pesquisa, CAPES, CNPq, Fapesb e Finep pelo suporte financeiro.

Muito obrigada por possibilitar meu crescimento profissional e humano, esta conquista não é somente minha, mas nossa.

“Na ausência do outro, o homem não se constrói homem.”

Lev Semionovich Vygotsky
(Pensar a escola, uma aventura de 2.500 anos, p.135)

SOBRAL, Ivoneide Santana. Produção e aplicação de carvão ativado e carvão ativado funcionalizado do *Cocos nucifera* associado a *Pseudomonas aeruginosa* em diferentes tratamentos de águas residuais. 2024. Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando de Almeida. Coorientadoras: Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Rangel Santos Varela e Prof.^a Dr.^a Sirlene Barbosa Lima. 196 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia Industrial e Ambiental) — Instituto de Ciência da Saúde, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2024.

RESUMO

Ao longo dos anos os corpos hídricos estão sendo exauridos. A água essencial para todos os seres vivos vem sofrendo constantemente com a poluição. O uso da biomassa proporcionando um processo de tratamento de corpos d'águas produzindo um adsorvente de baixo custo e associado com microrganismos surge como uma alternativa viável e sustentável de biorremediação. Neste trabalho foi utilizado o mesocarpo do *Cocos nucifera* para obtenção de carvões ativados e carvões ativados funcionalizados. O carvão ativo foi obtido por ativação física com vapor de água (600 °C), a funcionalização decorreu-se com peróxido de hidrogênio, ácido nítrico e ácido sulfúrico. O carvão ativado/funcionalizado exibe uma estrutura porosa com uma alta capacidade de adsorção. A água do rio Camarajipe-Salvador-BA foi utilizada como base na determinação do potencial de purificação com os adsorventes estudados. As propriedades físico-químicas da água contaminada e da água tratada com os adsorventes foram comparadas, e indicaram que poluentes derivados de compostos orgânicos foram eliminados como esperado. A importância na adsorção de materiais orgânicos se deve porque estes compostos possuem uma maior complexidade, por apresentarem em suas estruturas químicas grupos funcionais específicos de natureza iônica diferente, que podem impedir a interação adsorvente e poluente orgânico. Outros parâmetros investigados na água tratada com os adsorventes não ficaram nos padrões estabelecidos para água potável. Entretanto, os carbonáceos estudados quando associados a *Pseudomonas aeruginosa* na degradação dos corantes azul de metila e azul brilhante de remazol R, mostraram-se efetivos neste processo. Os corantes possuem estruturas químicas complexas tóxicas para os organismos em solo e água de áreas afetadas. As águas residuais têxteis demandam um tratamento apropriado antes de seu descarte no meio ambiente. A amostra de carvão ativado funcionalizado com peróxido de hidrogênio e com a *P. aeruginosa* incorporada exibiu o melhor resultado na biodegradação dos corantes azul de metileno e azul brilhante de remazol R. Os bioensaios com a utilização de bioeletromodulação também reproduziram os mesmos resultados na degradação destes corantes. Isto pode ter ocorrido porque o meio ao qual o adsorvente suportado foi submetido, durante o bioensaio, apresentava um pH alcalino, possibilitando a atuação da amostra que possuía pH de ponto de carga zero 7,27. É válido supor que o carvão ativo se mostre efetivo quando associado a microrganismos na remoção de corantes presentes em águas residuárias. Isto porque, estudos revelam que as bactérias incorporadas se mostram ajustáveis as mudanças em um meio impróprio. Além disso, elas podem utilizar compostos xenobióticos presentes no corante como substrato para seu metabolismo, gerando a degradação destes compostos químicos. Com este estudo conclui-se que carvões ativados/funcionalizados e adicionado de

bactéria, quando associados podem formar um biofiltro ideal para tratar águas contaminadas. No entanto, é necessário compreender as demandas microbianas, as características da água que será tratada e outros inúmeros fatores para alcançar um biofiltro ideal. Indiscutivelmente, a biorremediação dos corpos d'águas com o uso de adsorventes como suporte de microrganismos requer mais pesquisas para garantir a obtenção de resultados mais significativos.

Palavras-chave: Mesocarpo do *Cocos nucifera*. Carvão ativado. Carvão ativado funcionalizado. Rio Camarajipe. *Pseudomonas aeruginosa*. Adsorção. Corantes. Bioeletroestimulação.

SOBRAL, Ivoneide Santana. Production and activated charcoal application and functionalized activated coal of the *Cocos nucifera* associated with *Pseudomonas aeruginosa* in different wastewater treatments. 2024. Thesis advisor: MSc. Dr. Paulo Fernando de Almeida. Thesis co-advisors: MSc. Dr. Maria do Carmo Rangel Santos Varela and MSc. Dr. Sirlene Barbosa Lima. 196 f. Thesis (Doctorate in Industrial and Environmental Biotechnology) —Instituto de Ciência da Saúde, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

ABSTRAC

Over the years we have been observing the gradual death of the environment and all its resources are being depleted. The water essential for all living beings constantly suffers from pollution. Bioremediation appears as a viable and sustainable alternative. The use of biomass with the aim of providing a process for treating water bodies, producing a low-cost adsorbent, appears as an alternative, together with the association with microorganisms. In this work, *Cocos nucifera* mesocarp was used to obtain activated carbons and functionalized activated carbons. Activated carbon was obtained by physical activation with water vapor (600 °C) and hydrogen peroxide, nitric acid and sulfuric acid were used in the functionalization. The waters of the Camarajipe River were used as a basis to determine the purification potential of the adsorbents. The physicochemical properties of the contaminated water and the water treated with the adsorbent were compared, which indicated that pollutants derived from organic compounds were eliminated as expected. Other parameters investigated in the water treated with the adsorbent were not within the standards established for drinking water. However, the carbonaceous substances studied when associated with *Pseudomonas aeruginosa* for the degradation of the dye's methyl blue and remazol brilliant blue R, proved to be effective in this process. The sample of activated carbon functionalized with hydrogen peroxide supported with *P. aeruginosa* exhibited the best result in biodegradation in the dye methylene blue and remazol brilliant blue R. Bioassays using biomodulation also reproduced the same result in the degradation of these dyes, with the sample of activated carbon functionalized with hydrogen peroxide supported with *P. aeruginosa* being the highlight. The use of carbon materials in the preparation of activated carbon proves to be effective when associated with bacteria in the treatment of contaminated water. There is a need to further develop this degradation technique in association with microorganisms. The bioremediation of water bodies still requires the implementation of new technologies to guarantee the obtaining of better products generated by microorganisms.

Keywords: Mesocarp of *Cocos nucifera*. Activated charcoal. Coal activated functionalized. Camarajipe River. *Pseudomonas aeruginosa*. Adsorption. Dyes. Bioelectrostimulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Delimitação cartográfica da Bacia Hidrográfica do rio Camarajipe (a) e Curso d'água do rio Camarajipe (b), Salvador-Bahia.....	33
Fluxograma 1	Método de conversão da biomassa em carvão ativado.....	77
Gráfico 1	Produção de <i>Cocos nucifera</i> por continentes.....	39
Quadro 1	Localização e fotos do rio Camarajipe, Salvador-Bahia.....	36
Figura 2	Rio Camarajipe desembocando na Praia da Mariquita (Século XX).....	34
Fluxograma 2	Funcionalização do carvão ativado com H ₂ O ₂	80
Gráfico 2	Principais produtores de <i>Cocos nucifera</i>	39
Quadro 2	Resultado de análise físico-química do rio Camarajipe/INEMA.....	147
Figura 3	Flor de camará ou cambará (<i>Lantana camara</i> L.).....	34
Fluxograma 3	Funcionalização do carvão ativado com HNO ₃ /H ₂ SO ₄	81
Gráfico 3	Panorama da destinação de resíduos sólidos.....	43
Quadro 3	Índice do Estado Trófico (IET) e sua classificação.....	148
Figura 4	Corte longitudinal do coco-da-baía e suas divisões.....	38
Gráfico 4	Curva da decomposição térmica do mesocarpo do coco verde-curva termogravimétrica (TGA) e sua derivada (DGT).....	100
Quadro 4	Resultados de IET na bacia do rio Camarajipe no período de 2013–2023.....	149
Figura 5	Fotos ilustrando o descarte irregular do coco-da-baía.....	42
Gráfico 5	Determinação do pH P _{CZ} das amostras (a) CAMC600 e (d) CAMC760, (b) CAMC600_PH, (c) CAMC600_HN/HS, (e) CAMC760_PH e (f) CAMC7.....	111
Figura 6	Representação esquemática da microestrutura do carvão ativado.....	46
Gráfico 6	Padrão DRX das CMC600, CAMC600, CAMC600_HP CMC600_HN/HS mostrando os picos característicos	

	correspondentes aos diferentes planos de cristal na estrutura do material.....	114
Figura 7	Etapas da transformação da biomassa em carvão ativado.....	47
Gráfico 7	Padrão DRX das CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS mostrando os picos característicos correspondentes aos diferentes planos de cristal na estrutura do material.....	115
Figura 8	Grupos funcionais presentes na superfície do carvão ativado.....	48
Gráfico 8	Espectro de FTIR da amostra da Biomassa do <i>Cocos nucifera</i> (BMC).....	116
Figura 9	Absorção nos macros, mesos e microporos do carvão ativado.....	50
Gráfico 9	Espectros de FTIR das amostras CMC600, CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS.....	118
Figura 10	Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	52
Gráfico 10	Espectros de FTIR das amostras CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS.....	119
Figura 11	Microscopia eletrônica exibindo a célula de <i>P. aeruginosa</i>	60
Gráfico 11	Isotermas de adsorção/dessorção das amostras CACm, CMC600, CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS.....	121
Figura 12	Estrutura química (a) azul brilhante de remazol R, (b) azul de metileno e (c) disperse orange 37.....	64
Gráfico 12	Isotermas de adsorção/dessorção das amostras CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS.....	122
Figura 13	Vista panorâmica de praia localizada na região de Vilas do Atlântico-região com coqueirais.....	74
Gráfico 13	Distribuição do tamanho dos poros das amostras CACm, CMC600, CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS pelo método BET.....	123

Figura 14	Biomassa formada por mesocarpo do <i>Cocos nucifera</i> antes (a) e após ser triturado e peneirado (b).....75
Gráfico 14	Distribuição do tamanho dos poros das amostras CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS pelo método BET.....123
Figura 15	Cela de quartzo (a) utilizado na carbonização e a cela de quartzo no interior do forno de carbonização (b).....76
Gráfico 15	Bioensaio com o bioindicador <i>Artemia salina</i> em amostras dos pontos (a), (b) e (c).....157
Figura 16	Forno de carbonização, equipamento responsável pela conversão da biomassa em carvão.....77
Gráfico 16	Relação entre concentração da solução de azul de metileno e taxa de mortalidade da <i>Artemia salina</i>158
Figura 17	Forno de carbonização com <i>trap</i> , instrumento encarregado na ativação física do carvão.....78
Gráfico 17	Valores da biomassa bacteriana encontradas após experimento de imobilização.....159
Figura 18	Mesocarpo de coco-da-baía após carbonização (a) e após sua ativação (b).....78
Gráfico 18	Descoloração do azul de metileno em função de diferentes grupos experimentais em valores de absorbância e transmitância.....160
Figura 19	Foto com o sistema utilizado para realizar a funcionalização do CAMC600 com o H ₂ O ₂79
Gráfico 19	Descoloração do azul de metileno em grupos experimentais e em períodos de 24 horas (a), 120 horas (b) e 240 horas (c).....162
Figura 20	Sistema utilizado para desenvolver a filtração da água coletada no rio Camarajipe.....89
Gráfico 20	Bioeletromodulação da interação entre azul de metileno e os grupos experimentais em diferentes amperagens. Em a1/a2 com amperagem de 750µA em 10 min; b1/b2 com amperagem de 990µA em 10 min e em c1/c2 com amperagem de 990µA em 30 min.....166
Figura 21	Sistema utilizado para desenvolver a filtração da água coletada no rio Camarajipe.....90

Gráfico 21	Bioeletromodulação da interação entre azul brilhante de remazol R e os grupos experimentais em amperagens de 990 μ A em 10 minutos. Em (a) tem 24 horas em incubadora em (b) 120 horas.....168
Figura 22	Bioensaio de <i>Artemia salina</i> em placas de Elisa sob iluminação constante.....91
Figura 23	Foto do bioensaio da descoloração com o uso da eletroestimulação com biorreatores.....97
Figura 24	<i>Trap</i> de coleta de gases, durante processo de carbonização-presença de gases provenientes da pirólise.....103
Figura 25	Representação esquemática do comportamento ácido e básico da superfície contendo grupos oxigênio e elétrons π deslocalizados do plano basal.....110
Figura 26	Mecanismo de adsorção eletrostática com base no PCZ.....110
Figura 27	Imagem de MEV da amostra da biomassa (BMC), (a) 400x; (b) 300x.....127
Figura 28	Imagem de MEV da amostra do carvão (CMC600), (a) 400x; (b) 3 000x.....127
Figura 29	Imagem de MEV da amostra do carvão ativado (CAMC600), (a) 950x; (b) 700x.....127
Figura 30	Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC760), (a) 400x; (b) 3 000x.....128
Figura 31	Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC600_PH), (a) 400x; (b) 3 000x.....129
Figura 32	Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC600_HN/HS), (a) 950x; (b) 2 700x.....129
Figura 33	Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC760_PH), (a) 400x; (b) 3 000x.....129
Figura 34	Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC760_HN/HS), (a) 400x; (b) 1 600x.....130

Figura 36	Energia dispersiva de raios X (EDS) das amostras de biomassa <i>in natura</i> , BMC (a), amostra de carvão ativado CAMC600 (b) e a amostra de carvão ativado funcionalizado CAMC760_HN/HS (c).....131
Figura 37	Imagem de MEV das amostras dos carvões ativos e carvões ativos funcionalizados após adsorção das águas do rio Camarajipe....133
Figura 38	Foto dos pontos de coleta, (a), (b) e (c) no rio Camarajipe.....134
Figura 39	Nível de contaminação microbiana das águas do rio Camarajipe nos pontos (a), (b) e (c) Utilização do sistema <i>Colipaper</i> ® — <i>Alfakit</i> ®.....150
Figura 40	Foto do rio das Tripas, afluente do rio Camarajipe.....151
Figura 41	Nível de contaminação microbiana das águas do Rio Camarajipe no ponto (a). Utilização do sistema <i>Colipaper</i> ® — <i>Alfakit</i> ®.....153
Figura 42	Nível de contaminação microbiana das águas do Rio Camarajipe no ponto (b). Utilização do sistema <i>Colipaper</i> ® — <i>Alfakit</i> ®.....154
	Nível de contaminação microbiana das águas do Rio Camarajipe no ponto (c). Utilização do sistema <i>Colipaper</i> ® — <i>Alfakit</i> ®.....155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Principais produtores do coco no Brasil em 2022.....	40
Tabela 2	Descrição de alguns grupos cromóforos e auxocromos.....	66
Tabela 3	Relação das amostras obtidas e as respectivas nomenclaturas usadas na identificação.....	82
Tabela 4	Localização dos três pontos de coleta no rio Camarajipe.....	88
Tabela 5	Relação dos filtros produzidos empregados nos ensaios de filtração.....	89
Tabela 6	Códigos das concentrações de azul de metileno no bioensaio com <i>A. salina</i>	92
Tabela 7	Relação das amostras utilizadas na imobilização da bactéria no carvão ativado e as nomenclaturas usadas na identificação.....	93
Tabela 8	Relação das amostras utilizadas na imobilização da bactéria e as respectivas nomenclaturas usadas na identificação.....	93
Tabela 9	Descrição dos grupos experimentais e suas proporções empregadas na descoloração do azul de <i>metileno</i>	94
Tabela 10	Grupos experimentais utilizados na descoloração do azul <i>de metileno</i>	95
Tabela 11	Relação dos grupos experimentais aplicados na descoloração do azul de metileno com o uso de uma corrente elétrica.....	96
Tabela 12	Descrição da corrente elétrica e o tempo aplicado nos testes de descoloração com azul de metileno e azul brilhante de remazol R.....	96
Tabela 13	Composição química da biomassa mesocarpo do coco verde <i>in natura</i>	98

Tabela 14	Massas obtidas após pirólise e ativação da biomassa do mesocarpo do <i>Cocos nucifera</i>	102
Tabela 15	Valores dos teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo das amostras estudadas.....	104
Tabela 16	Valores de pH das amostras da biomassa, carvão, carvões ativados e carvões ativados funcionalizados.....	108
Tabela 17	Área superficial específica de microporos (S_{mic}), e por Brunauer-Emmet-Teller (S_{BET}), volume total de poro (V_t), volume de microporos (V_{mic}), diâmetro dos poros.....	124
Tabela 18	Resultados dos parâmetros físico-químicos e organolépticos <i>in loco</i> da coleta.....	135
Tabela 19	Relação dos filtros empregados nos ensaios de filtração.....	138
Tabela 20	Totais de sólidos dissolvidos (TDS) das amostras (a), (b) e (c), antes e pós-filtração.....	141
Tabela 21	Condutividade elétrica (EC) das amostras (a), (b) e (c), antes e pós-filtração.....	142
Tabela 22	Resultados das análises físico-químicas das amostras do ponto (a) antes e após utilização de adsorventes.....	143
Tabela 23	Resultados das análises físico-químicas das amostras do ponto (b) antes e após utilização de adsorventes.....	144
Tabela 24	Resultados das análises físico-químicas das amostras do ponto (c) antes e após utilização de adsorventes.....	145

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABR	Azul brilhante de remazol R
ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
aC	Antes de Cristo
AM	Azul de metileno
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
As	Arsênio
ASTM	<i>Standard Test Method for determination of Total Solids in Biomass</i>
BMC	Biomassa
BTX	Benzeno, tolueno e xileno
CA	Carvão ativado
CACm	Carvão ativado comercial
CAMC600	Carvão do Mesocarpo do Coco com ativação a 600 °C
CAMC760	Carvão do Mesocarpo do Coco com ativação a 760 °C
CAMC600_PH	Carvão do Mesocarpo do Coco com ativação a 600 °C e funcionalizado com peróxido de hidrogênio
CAMC600_HN/HS	Carvão do Mesocarpo do Coco com ativação a 600 °C e funcionalizado com ácido nítrico e ácido sulfúrico
CAMC760_PH	Carvão do Mesocarpo do Coco com ativação a 760 °C e funcionalizado com peróxido de hidrogênio
CAMC760_HN/HS	Carvão do Mesocarpo do Coco com ativação a 760 °C e funcionalizado com ácido nítrico e ácido sulfúrico
CAPES	Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior do Ministério da educação
CF	Carbono fixo
CMC	Carvão do mesocarpo do coco
COMON	Coordenação de Monitoramento de Recursos Ambientais e Hídricos
Cr	Cromo

Cu	Cobre
$C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$	Azul brilhante de remazol R
$C_{16}H_{18}N_3SCI$	Azul de metileno
DRX	Difração de raios X
DTG	Derivada da termogravimetria
FAOSTAT	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FAPESB	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia
FRX	Fluorescência de raios X
FTIR	<i>Fourier-transform infrared spectroscopy</i>
g	Grama
GECCAT	Grupo de Estudos em Cinética e Catálise
KBr	Brometo de potássio
H_3BO_3	Ácido bórico
HNO_3	Ácido nítrico
H_2SO_4	Ácido sulfúrico
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IQA	Índice de Qualidade das Águas
km	Quilômetro
LAMUNE	Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica
M_C	Massa do cadinho
M_{CAI}	Massa do cadinho inicial
M_{CAF}	Massa do cadinho final
M_{CAV}	Massa do cadinho após queima do material volátil
MEV	Microscopia Varredura de Eletrônica
MFC	Células de combustível microbiano
M_R	Massa residual da calcinação
N	Nitrogênio
nm	Nanômetro (10^{-9})
— N=N—	Azocorantes
NO^{-3}	Íons nitrato
NH_4^{+}	Amônia

ODES	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização Mundial das Nações
P	Fósforo
P.A.	Para análise
Pa	Suspensão de bactéria
Pa10	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> em concentração de 1/10
Pa100	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> em concentração de 1/100
Pa1000	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> em concentração de 1/1000
PCZ	Ponto de carga zero
Pb	Chumbo
PVC	Policloreto de vinila
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
PO ₄ ⁻³	Íons fosfato
PFAS	Polifluoroaquil
PGIRS	Plano de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos
pH	Potencial hidrogeniônico
PPEQ	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química
RPM	Rotações por minuto
Se	Selênio
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SINIR	Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
TSB	Caldo de triptona de soja
TCZ	Teor de cinzas
TG	Termogravimétrica
TMV	Teor de materiais voláteis
TU	Teor de umidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	JUSTIFICATIVA.....	25
1.2	OBJETIVOS.....	30
1.2.1	Objetivos gerais	30
1.2.2	Objetivos específicos	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	32
2.1	RIO CAMARAJIPE.....	32
2.2	COCO VERDE (<i>Cocos nucifera</i>).....	37
2.3	CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA BIOMASSA.....	44
2.4	BIORREMEDIAÇÃO.....	51
2.4.1	Bioestimulação	55
2.4.2	Microrganismos imobilizados para a biorremediação	56
2.4.2.1	<i>Biorremediação com Pseudomonas aeruginosa</i>	60
2.4.3	Biorremediação de água contaminada com corante	63
3	METODOLOGIA	70
3.1	EQUIPAMENTOS E MATERIAIS UTILIZADOS.....	70
3.1.1	Materiais e reagentes químicos utilizados	70
3.1.2	Equipamentos utilizados	72
3.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	74
3.2.1	Origem da biomassa	74
3.2.2	Preparação da biomassa do mesocarpo do <i>Cocos nucifera</i>	75

3.2.3	Determinação da temperatura de carbonização e ativação.....	75
3.2.3.1	<i>Pirólise e ativação do mesocarpo do Cocos nucifera.....</i>	<i>76</i>
3.2.4	Funcionalização dos carvões ativados.....	78
3.2.4.1	<i>Funcionalização do carvão ativado com peróxido de hidrogênio.....</i>	<i>79</i>
3.2.4.2	<i>Funcionalização do carvão ativado com ácido nítrico e ácido sulfúrico.....</i>	<i>80</i>
3.2.5	Nomenclatura das amostras.....	81
3.2.6	Caracterização das amostras.....	82
3.2.6.1	<i>Determinação do Teor de Umidade (TU).....</i>	<i>82</i>
3.2.6.2	<i>Determinação do Teor de Matéria Volátil (TMV).....</i>	<i>83</i>
3.2.6.3	<i>Determinação do Teor de Cinzas (TCZ).....</i>	<i>83</i>
3.2.6.4	<i>Determinação do Carbono Fixo (CF).....</i>	<i>84</i>
3.2.6.5	<i>Determinação do pH.....</i>	<i>84</i>
3.2.6.6	<i>Determinação do Ponto da Carga Zero (PCZ).....</i>	<i>85</i>
3.2.6.7	<i>Espectroscopia de fluorescência de raios X.....</i>	<i>85</i>
3.2.6.8	<i>Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier.....</i>	<i>86</i>
3.2.6.9	<i>Espectroscopia por Difração de raios X.....</i>	<i>86</i>
3.2.6.10	<i>Medida de área superficial específica e porosidade.....</i>	<i>86</i>
3.2.6.11	<i>Microscopia Varredura de Eletrônica.....</i>	<i>87</i>
3.2.7	Coleta da água do rio Camarajipe.....	88
3.2.7.1	<i>Ensaio de filtração com a água coletada.....</i>	<i>88</i>
3.2.7.2	<i>Análise da água após filtração.....</i>	<i>90</i>
3.2.7.3	<i>Bioensaio com Artemia salina.....</i>	<i>90</i>
3.2.7.4	<i>Bioensaio com Artemia salina em solução de azul de metileno.....</i>	<i>91</i>

3.2.8	Imobilização com bactéria em carvão ativado.....	92
3.2.8.1	<i>Bioensaios com Pseudomonas aeruginosa na adsorção.....</i>	94
3.2.8.2	<i>Capacidade de adsorção do carvão ativado e funcionalizado imobilizado com Pseudomonas aeruginosa.....</i>	94
3.2.9	Bioestimulação em bactérias.....	95
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	98
4.1	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA <i>IN NATURA</i>	98
4.1.1	Espectroscopia de fluorescência de raios X.....	98
4.2	PIRÓLISE E ATIVAÇÃO DA BIOMASSA.....	99
4.2.1	Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i>.....	99
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA, CARVÃO, CARVÃO ATIVADO.....	104
4.3.1	Determinação do Teor de Umidade, Voláteis, Cinzas e carbono fixo.....	104
4.3.2	Determinação do pH.....	107
4.3.3	Determinação do Ponto da Carga Zero.....	109
4.3.4	Espectroscopia por Difração de raios X.....	113
4.3.5	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier.....	116
4.3.6	Medida de área superficial específica e porosidade.....	121
4.3.7	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	125
4.4	COLETA DA ÁGUA DO RIO CAMARAJIPE.....	133
4.4.1	Características físico-químicas da água coletada <i>in loco</i>.....	134
4.4.2	Características físico-químicas da água após filtração.....	137
4.4.3	Análise microbiológica da água coletada.....	149

4.4.4	Bioensaio com <i>Artemia salina</i>	156
4.4.5	Bioensaio com <i>Artemia salina</i> com azul de metileno.....	158
4.4.6	Imobilização com bactéria em carvão ativado.....	159
4.4.7	Adsorção do carvão ativado e imobilizado com <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	160
4.4.7.1	Teste 1 – Realizado com carvão ativado comercial.....	160
4.4.7.2	Teste 2 – Carvão ativado e carvão ativado funcionalizado.....	162
4.5	BIOESTIMULAÇÃO EM BACTÉRIAS.....	165
5	CONCLUSÃO.....	171
6	REFERÊNCIAS.....	173
	APÊNDICE A — Ficha de coleta rio Camarajipe.....	190

1 INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

A água pode ser considerada um elemento estratégico utilizado por todo o planeta Terra, posto que é essencial para a sobrevivência humana, manutenção de ambientes naturais e atividades e desenvolvimento de economias mundiais.

Setenta por cento da superfície da terra é composta por água, representando aproximadamente 1.386 milhões de quilômetros cúbicos em volume de água, sendo que o equivalente a 97% representa água salgada, não adequada para o consumo direto e nem à irrigação. A distribuição da água doce na Terra ocorre desigualmente, 70% das águas estão concentradas em dez países (Brasil, Rússia, China, Indonésia, Estados Unidos, Índia, Colômbia e República Democrática do Congo). Do percentual de água doce (2,5%), cerca de 69% constituem as geleiras, 30% águas subterrâneas e apenas 1% compreende os rios (ANA-Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2024; Conselho Nacional da Água, 2024).

Não há como prever com precisão a demanda global por água, mas sabe-se que os ecossistemas de águas doces estão entre os mais ameaçados do mundo (UNESCO, Vári *et al.*, 2022). Como foco nesse dilema, no ano de 2015 foi lançado pela Organização das Nações Unidas (ONU) um conjunto de dezessete metas denominadas, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em que se propõe a preservação do globo terrestre e garantia de uma melhor qualidade de vida aos indivíduos até o ano de 2030. O propósito central dos ODS está na sustentabilidade para atender às necessidades mundiais sem pôr em risco as gerações futuras. Isso é imperativo para assegurar que os recursos naturais, com os ecossistemas, sejam preservados sem afetar os sistemas econômicos mundiais (Marques *et al.*, 2018). Dentre as dezessete prioridades mundiais, a sexta meta é descrita como água potável e saneamento, que tem em vista garantir e disponibilizar o gerenciamento sustentável da água e do saneamento para a população mundial.

Os grandes centros do Brasil possuem graves problemas em relação à coleta dos efluentes domésticos, isto porque não são adequadamente coletados e tratados

em uma estação de tratamento de água. Devido a esta situação, a projeção de esgoto sanitário *in natura*, por décadas, vem comprometendo a qualidade dos corpos hídricos que atravessam as cidades. Silva, Mello e Almeida (2019) descrevem em seu artigo que os rios das grandes cidades brasileiras, no final do século XIX, cumpriam uma dupla função, a de abastecer o consumo humano de água e de transportar o esgoto doméstico para longe das casas. Para resolver esta problemática, deu início a uma fase descrita como “higienista” que ocorre com o tratamento das águas residuais, alteração dos locais de captação das águas e canalização, o que levou a redução de doenças que afligiam a população, entretanto, os rios continuavam contaminados, gerando um impacto nas fontes geradoras de água e inundações (Tucci, 2008).

A fase higienista propiciou uma melhora nas condições sanitárias da população, entretanto os rios urbanos continuavam poluídos e não existiam propostas concretas de recuperação destes corpos d'água. Talvez por isto, as ideias higienistas do final do século XIX ainda continuam sendo aplicadas, já que, com o passar das décadas, houve poucas iniciativas para um desenvolvimento sustentável e melhora do planejamento urbano em comunhão com a gestão das águas.

A taxa de coleta e tratamento de esgoto no Brasil é de cerca de 56% e na região Nordeste, aproximadamente 30% da população tem acesso à rede de esgoto sanitário (SNIS-Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2022). Na cidade de Salvador, Bahia, segundo o censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2022, vivem 2.417.678 habitantes, sendo que 92,8% desta população total tem acesso aos serviços de esgotamento sanitário, referindo-se a média nacional de 63,2% (IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024).

A cidade de Salvador poderia ser considerada um exemplo no que se refere a saneamento básico, entretanto devemos perceber que 7,2% desta mesma população não tem acesso à rede de esgoto, representando 174.073 pessoas. Este número não deve ser desconsiderado, uma vez que os efluentes domésticos e industriais, que não são adequadamente captados e tratados, são lançados diretamente nos corpos hídricos, gerando problemas ambientais, sociais e econômicos.

Os corpos hídricos, principalmente os rios, que atravessam os grandes centros econômicos do Brasil, apresentam altos índices de poluição e Salvador não está descartada desta realidade. O rio Camarajipe apresenta-se como um exemplo de um rio urbano coletor de águas residuais, já que se transpõe pelo município de Salvador, entre regiões residenciais e comerciais concentradas. O rio Camarajipe no século XX

já foi utilizado como base de abastecimento de água para a população de Salvador, entretanto a qualidade da água foi reduzida ao longo dos anos devido à falta dos serviços adequados de saneamento básico (Santos *et al.*, 2010 *apud* Marques *et al.*, 2018).

Entre os contaminantes presentes nas águas de consumo e nas águas residuais estão os xenobióticos (compostos sintéticos), usualmente utilizados com finalidades domésticas, agrícolas e industriais. No biosistema, eles estão em concentrações micropoluentes e têm características bioacumulativas. A exposição prolongada a estes compostos, mesmo a concentrações baixas, pode gerar efeitos tóxicos e mutagênicos (Stetanac; Grigos; Dragicevic, 2021). As estações de tratamento de águas residuais não possuem dispositivos eficientes para minimizar o descarte de compostos xenobióticos, desta forma, os compostos entram nos esgotos e na cadeia alimentar, acometendo diretamente os seres humanos (Roccaro; Sgroi; Vagliasindi, 2013; Karthigadevi *et al.*, 2021 *apud* Stetanac; Grigos; Dragicevic, 2021; Oliveira *et al.*, 2020) e participando na contaminação dos corpos d'água com os micropoluentes (Gabet-Giraud *et al.*, 2010; Vieno; Tukanen; Kronberg, 2007; Clara *et al.*, 2005 *apud* Stetanac; Grigos; Dragicevic, 2021).

A fim de minimizar os impactos negativos destes e de outros contaminantes os cientistas veem explorando metodologias para o tratamento de águas residuais, observando vários fatores, como custo, eficácia, degradabilidade dos compostos e tudo para alcançar um método preciso que preserve os ecossistemas. Neste contexto, a biorremediação, sendo uma divisão da biotecnologia, utiliza agentes biológicos para limitar o impacto de áreas contaminadas por produtos químicos (Azubuiké; Chikere; Okpokwasili, 2016). Os métodos podem ser operados *in situ*, realização do tratamento da contaminação no local, ou *ex situ*, por meio da retirada do material contaminado para tratamento em outro local (Azubuiké; Chikere; Okpokwasili, 2016; Mishra *et al.*, 2020; Mohan *et al.*, 2019; Pandey *et al.*, 2021 *apud* Kayastha, *et al.*, 2022). A biorremediação harmoniza-se com as questões abordadas por ser um método biológico que se processa espontaneamente pela adição e ação de agentes específicos que degradam agentes poluentes.

A biorremediação pode ser da mesma forma atingida através da modulação metabólica, por meio da transferência de elétrons para um sistema biológico. O processo é denominado eletroestimulação e, assim como outros métodos, pode ser um auxílio no aprimoramento de processos biotecnológicos. (Mohan; Varjani; Pandey,

2018). Por meio da bioeletromodulação o metabolismo celular, a biomassa e a concentração de bioativos podem ser alterados, assim como inibir o crescimento microbiano e reduzi-lo (Xiao; Zhao; Cheng, 2018).

A utilização de microrganismos aptos na biodegradação dos poluentes, constitui uma técnica utilizada na biorremediação, sendo integrada como uma metodologia que gera como produto final a decomposição completa dos poluentes em materiais menos perigosos (McGenity, 2014; Maletic' *et al.*, 2019; Gan *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2019 *apud* Hajieghrari; Hejazi, 2020). Entretanto, a utilização de microrganismos, como biorremediador, faz necessário a utilização de um suporte/transportador para estes seres vivos manterem suas funções biológicas. Portanto, inúmeros materiais têm sido utilizados como suporte/transporte, de materiais carbônicos, compostos celulósicos, entre outros, visando os processos de biorremediação (Shao *et al.*, 2019 *apud* Hajieghrari; Hejazi, 2020). Serragem, sabugo de milho, bagaço de cana e cavacos de madeira estão no centro dos interesses para estudos científicos (Dzionic; Wojcieszynska; Guzik, 2016; Bayat.; Hassanshahian; Cappell, 2015). Os carreadores naturais mostram-se promissores devido à disponibilidade, suas propriedades atóxicas, por serem biodegradáveis e por apresentarem grupos funcionais de superfície, proporcionando condições favoráveis para formação de biofilme de microrganismos.

Neste âmbito, a palmeira pertencente à família Arecaceae é considerada uma planta polivalente, ou seja, cada parte da árvore tem utilidade e pode ser transformada em diversos produtos. Além de tudo, várias partes do coqueiro são utilizadas para remover vários tipos de corantes da água e das águas residuais por meio de métodos químicos, físicos e biológicos. A casca do seu fruto, o coco (*Cocos nucifera*), pode ser transformado em carvão ativado e utilizado na adsorção de alguns poluentes como suporte/transportador de microrganismos.

A adsorção é um dos métodos físicos extensamente utilizados quando comparado aos seus equivalentes devido à eficiência de custos e facilidade de manuseio (Chong; Tam, 2020). Em virtude desta situação, os processos de adsorção, os carvões ativados, surgem como uma solução para reduzir a sua descarga no ambiente aquático. Carvões ativados promovem uma retenção eficiente de xenobióticos em função de sua estrutura microporosa, com uma área específicas elevadas de até $2\ 000\text{m}^2\text{g}^{-1}$ (Tahar; Choubert; Coqueira, 2013).

Com bases nestes estudos existe uma necessidade urgente de mais

experimentos em escala de laboratório para investigar o tratamento terciário de efluentes descartados e o rio Camarajipe foi a base para este trabalho na busca de métodos para corrigir os problemas expostos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos gerais

Desenvolver carvões ativados e funcionalizados, a partir da biomassa do mesocarpo do coco verde (*Cocos nucifera*), com propriedades adequadas em sua aplicação como filtro e como suporte para a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* na utilização como biofiltro, propondo-se a reduzir os contaminantes presentes em corpos d'água por meio da aplicação de tecnologias sustentáveis como a bioadsorção e bioestimulação.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar as propriedades físico-químicas da biomassa *in natura* (mesocarpo do coco-da-baía verde) para verificar as alterações após a carbonização e ativação;
- Caracterizar as propriedades físico-química do carvão, carvões ativados e carvões ativados funcionalizados e compará-la aos parâmetros obtidos do percussor;
- Comparar os parâmetros físico-químicos das amostras da água coletada no rio Camarajipe antes e após a aplicação do carvão, carvão ativado e os carvões funcionalizados como filtro;
- Aplicar o carvão ativado e carvões funcionalizados como suporte para a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* na bioadsorção do corante azul de metileno e azul brilhante de remazol R, corantes recalcitrantes usados como parâmetro;
- Utilizar o carvão ativado e ativado funcionalizado como suporte para a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* na adsorção do corante azul de metileno e azul

brilhante de remzol R usados como parâmetros no emprego da bioestimulação.

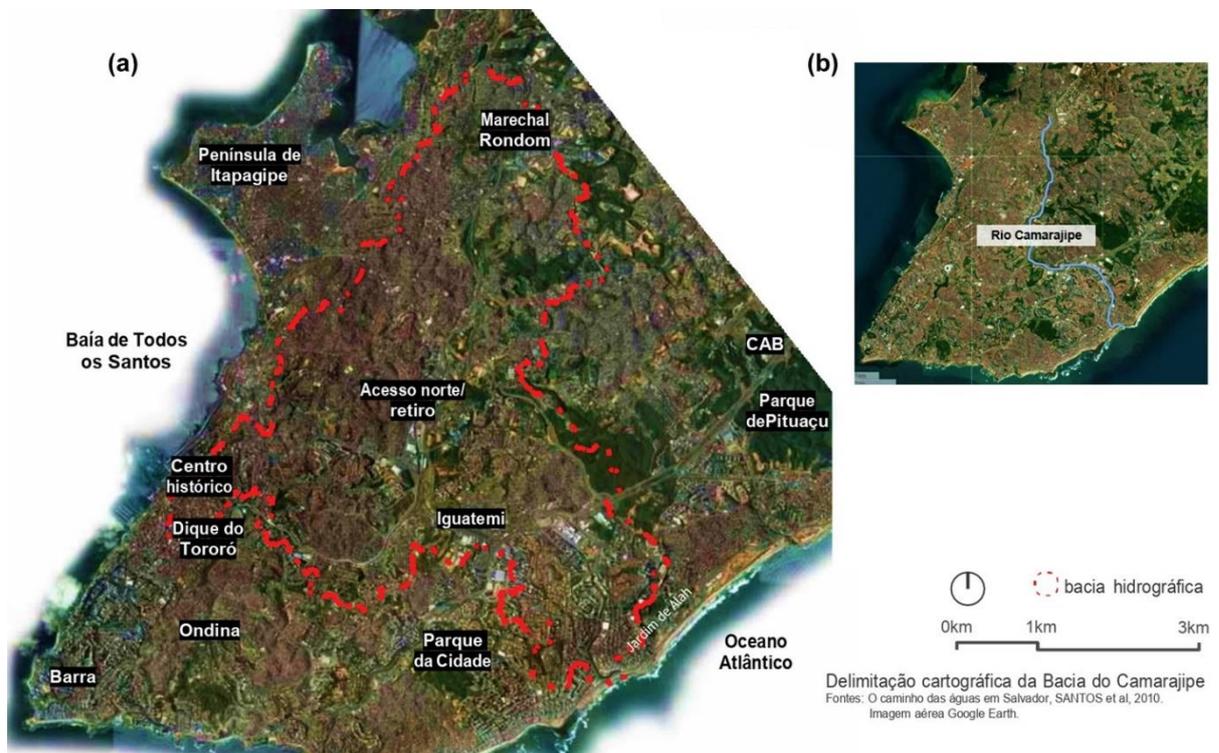
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RIO CAMARAJIPE

Situado na parte central da cidade de Salvador, pertencente à terceira maior bacia hidrográfica em extensão na região metropolitana, a Bacia Hidrográfica do Rio Camarajipe possui uma área de 35,87km², equivalente a 11,62% do território do município de Salvador (Santos *et al.*, 2010). A bacia está fixada geograficamente em um território demasiadamente habitado. Oliveira *et al.* em 2016, a descreve como “um dos principais centros empresariais de comércio e serviços do miolo da cidade de Salvador, mesorregião do estado da Bahia” (2016, p.368). Na Figura 1a podemos notar a grandeza das dimensões que abrangem a Bacia do rio Camarajipe.

A Bacia Hidrográfica do rio Camarajipe tem como seu afluente principal o seu homônimo, o rio Camarajipe, que tem suas “nascentes próximas ao Pirajá, nos bairros de Marechal Rondon, Boa Vista de São Caetano, Calabetão e Mata Escura” (Santos *et al.*, 2010, p 81) e a sua foz no bairro Costa Azul. Ao longo de seu percurso de aproximadamente 14km o rio “atravessa” a cidade em regiões que convergem muitas pessoas, carros, comércio e indústrias, gerando uma forte ação antrópica nos rios de compõem esta bacia hidrográfica, entre eles o seu rio principal, rio Camarajipe (Relatório Técnico N°028/2016; Jesus Santos *et al.*, 2013). Na Figura 1b podemos observar o percurso do rio Camarajipe desde a sua nascente à foz, desaguando no Oceano Atlântico.

Figura 1 - Delimitação cartográfica da Bacia Hidrográfica do rio Camarajipe (a) e Curso d'água do Rio Camarajipe (b), Salvador-Bahia.



Fonte: (a) Cerqueira, 2013, p.28, rio Camarajipe, Conexões e espaço urbano por entre cursos d'água. (b) Google Maps, fev. 2024 (com alterações).

Analisando a Figura 2, podemos tentar imaginar este rio há alguns séculos, como quando ele foi citado no livro *O Tupi na Geografia Nacional*, escrito pelo tupinologista Frederico Edelweis que descreve uma pesquisa sobre os topônimos de origem tupi. Neste livro o estudioso relata a grafia correta como sendo Camarajipe e não Camorojipe ou Camurujipe. A parte notável desta citação é que ele se baseia em uma carta quadrimestral jesuítica de 1557 que já se referia ao rio Camarajipe como sendo um “*rio que deságua no largo da Mariquita-Rio Vermelho*” (Sampaio, 1987, p.21).

Figura 2- Rio Camarajipe desembocando na Praia da Mariquita (Século XX).



Fonte: Salvador história cidade baixa, fev. 2024.

Os indígenas tupis não intitularam o Rio Vermelho de Camarajipe, mas de *Camarajy* (Rio dos Camarás). As flores do camará ou cambará (Figura 3), formadas com buquês de nuances laranja, rosa, vermelho e branco, acarpetavam a margem do rio e expressavam ao rio *Camarajy* dos índios, um tapete vermelho, um rio vermelho (Edelwiss, 1969; Sampaio, 1987). Desta forma, teremos no nome do Rio *Camarajy* um trincado vocabulário tupi, como descrito no livro de Frederico Edelweiss, onde temos: camará (ou cambará), nome de várias plantas, j seria um fonema eufônico (originalmente escrito com g); i (tupi y) representa água, rio.

Figura 3 - Flor de camará ou cambará (*Lantana camara* L.).



Fonte: PI@nta Net, fev. 2024.

O rio Camarajipe entre os séculos XIX e XX representou um dos principais pontos de abastecimento de água de Salvador com o represamento de suas nascentes que ficam próximas ao bairro Pirajá (Marques *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2010). Entretanto, no final do século XX ocorreu uma expansão demográfica, gerando o crescimento da malha urbana e industrial. Na região metropolitana de Salvador, a urbanização aumenta entre as décadas de 70 e 80. Este crescimento desordenado

ocasionou sequelas ao meio social e ambiental (Rossi; Guimarães Junior, 2019). Como resultado, na década de 80, as represas construídas próximas às nascentes do rio Camarajipe foram desativadas, devido à projeção de esgotos domésticos e efluentes industriais, gerando alterações nos parâmetros da qualidade da água (Santos *et al.*, 2010). Contudo, as grandes construções de avenidas de vale e formação de subcentros ainda prosseguiram. Neste cenário, a avenida Vale do Camarajipe, atualmente denominada de avenida Juracy Magalhães Júnior, foi uma das primeiras deste projeto urbanístico (formação de centros de comércio, serviços e de novos bairros).

O subcentro do Camarajipe ascendeu como uma das principais vias econômicas e viárias da cidade (Delgado, 2014 *apud* Rossi; Guimarães Junior, 2019). No entanto, para assegurar a construção do Vale do Camarajipe houve a necessidade de retificações e canalizações de rios. Santos *et al.* (2010, p. 81) citam em *Caminhos das Águas em Salvador* que “o caminho natural” do rio Camarajipe desembocava no Largo da Mariquita, no bairro do Rio Vermelho, tendo seu último afluente o Rio Lucaia. Foi nos anos sessenta que o curso do rio Camarajipe foi desviado devido a sucessivas inundações em regiões “baixas” do bairro do Rio Vermelho. Estas inundações eram geradas em decorrência do assoreamento concebido por obras de ocupação por toda extensão das margens do rio no decorrer dos anos (Cerqueira, 2013; Jesus Santos *et al.*, 2013; Nota Técnica N°028/16 COMON; Santos *et al.*, 2010).

Considerando todas as informações podemos perceber que ao longo dos anos o percurso do rio Camarajipe sofreu alterações em suas margens e leito, com modificações de trajeto e canalizações sucessivas, além obviamente da poluição gerada por lançamentos de esgoto *in natura*, motivada por seu curso percorrendo regiões desfavorecidas de infraestruturas urbanas, principalmente próxima a sua nascente. Estes efluentes domésticos e industriais são despejados indevidamente nos corpos hídricos, produzindo uma disfunção ao meio ambiente denominada eutrofização, como podemos verificar no Quadro 1. Desta forma, teremos no rio Camarajipe um exemplo, ou mau exemplo, de um rio coletor de efluentes, já que percorre todo o município soteropolitano, atravessando ambientes residências, comércios e indústrias (Cerqueira, 2013; Marques *et al.*; Nota Técnica N°028/16 COMON; Rossi; Guimarães Junior, 2019; Santos *et al.*, 2010).

Quadro 1 - Localização e fotos do rio Camarajipe, Salvador – Bahia:

Localização	Fotos
Alto do Cabrito, após o Dique de Campinas (sob ponte)	
Bom Juá, embaixo da BR 324	
R. Martiniano Bonfim (liga a Barros Reis à Av. Luis Eduardo Magalhães)	
Av. Oliveira, Arraial do Retiro	
Av. Luis Viana, ao lado da Grande Bahia	
Em frente à Rodoviária	
Foz do Rio Camarajipe no Costa Azul	

Fonte: Relatório Técnico N°006/2020 (adaptação).

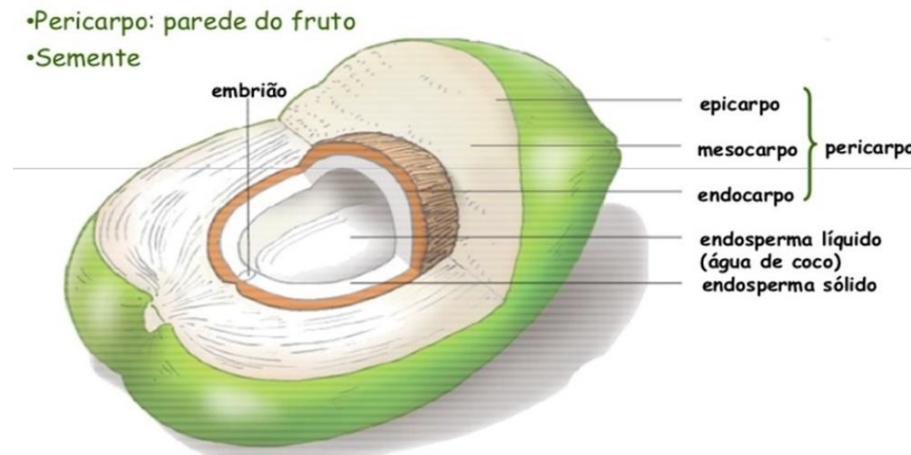
Notoriamente o rio Camarajipe vem suportando acometimentos como, as intervenções na malha hídrica com obras de retificações e canalizações, que tem como principal objetivo aumentar a ocupação nestas áreas marginais, causando danos aos ecossistemas e conseqüentemente acarretando alterações ao Índice de Qualidade das Águas (IQA), corresponde a metodologia para avaliar a qualidade da água, a partir da medição de suas características físicas, químicas e biológicas, classificando-as por meio de parâmetros de qualidade estabelecidos. Incontestavelmente, frequentemente estas ações geram altos custos e, além de não atenderem o objetivo, transferem o problema para outras regiões (Tucci, 2003; Botelho; Silva, 2004; Botelho, 2011; Binda; Fritzen, 2012 *apud* Oliveira *et al*, 2016). Inquerindo estas problemáticas, podemos observar pesquisas com propósito de sustentabilidade ecológica para auxiliar no tratamento de efluentes urbanos. Neste enredo, a biotecnologia é empregada na expansão destas técnicas com baixo custo.

2.2 COCO VERDE (*Cocos nucifera*)

O coqueiro é nativo das ilhas de clima tropical e subtropical do Oceano Pacífico, sendo o Sudeste Asiático a principal referência de centro de origem e diversidade. Seu cultivo foi ampliado para América Latina, Caribe e África Tropical (Foale; Harries, 2009, *apud* Martins; Jesus Júnior, 2011). No Brasil, o coqueiro foi trazido pelos portugueses em 1553, seu plantio inicial ocorreu no estado da Bahia, por isso a denominação coco-da-baía, e posteriormente propagou-se pelo litoral do nordeste (Moura; Leite, 2001). O coco pode ser cultivado em regiões costeiras arenosas desde que cresce em áreas de baixa pluviosidade onde o solo e a drenagem sejam adequadas, ou onde há uma boa oferta de água subterrânea, além disto a espécie pode tolerar maior salinidade do solo quando comparadas a outras culturas (Teulat *et al.*, 2000).

Cocos nucifera é um membro da família das monocotiledôneas Aracaceae (*Palmaceae*), única espécie do gênero *Cocos* pertencente à subfamília *Cocoideae*, que inclui 27 gêneros e 600 espécies (Teulat *et al.*, 2000). No gênero *Cocos*, distinguem-se duas variedades principais: coqueiro gigante (variedade típica Nar) e coqueiro anão (variedade nana Griff). O plantio da variedade anã é direcionado para consumo da água do fruto ainda imaturo. Os híbridos de coqueiro mais utilizados no Brasil e no mundo são derivados dos cruzamentos entre essas variedades (Aragão *et al.*, 2010). O seu fruto é uma drupa, formada por uma epiderme lisa esverdeada ou amarelada, o epicarpo. Sob o epicarpo está a camada de fibras, o mesocarpo, ficando mais no interior o endocarpo, é a porção mais rígida do fruto, envolvendo o endosperma, onde se encontra a amêndoa ou copra, parte comestível e o líquido, denominado de água do coco (Ferreira *et al.*, 1998, *apud* Andrade *et al.*, 2004; Fontes; Ferreira, 2006). Miola descreve em seu artigo (*apud* Grapiúna, 2012) que 65% do coco corresponde à noz e seu conteúdo (endosperma sólido e líquida), enquanto os 35% correspondem à parte fibrosa (casca). A Figura 4 ilustra o corte longitudinal do coco, assim como suas divisões.

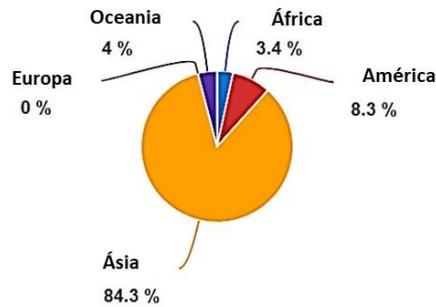
Figura 4 – Corte longitudinal do coco-da-baía e suas divisões.



Fonte: Adaptado de Mattos *et al.* (2011, p. 3).

Todas as partes do coco, salvo talvez as raízes, são úteis e as árvores possuem um alto rendimento (até 75 cocos por ano), desta forma, ele possui significativo valor econômico. Possui uma aceitação no comércio de frutas, não apenas para consumo da polpa e da água, assim como para a extração de muitos outros subprodutos, tais como: gorduras; leite; cosméticos; fibras, entre outros, todos com grande aplicação no Brasil e no exterior (Martins; Jesus Júnior., 2011). Desta forma, percebemos que a cultura do coco pode ser considerada uma relevante fonte geradora de renda, na alimentação e na produção de vários produtos oriundos deste fruto. Em virtude destas considerações, o coqueiro pode ser considerado “árvore-da-vida” (Erhardt *et al.*, 1976; Ferreira *et al.*, 1998, *apud* Andrade *et al.*, 2004, Rocha; Ferreira, 2022).

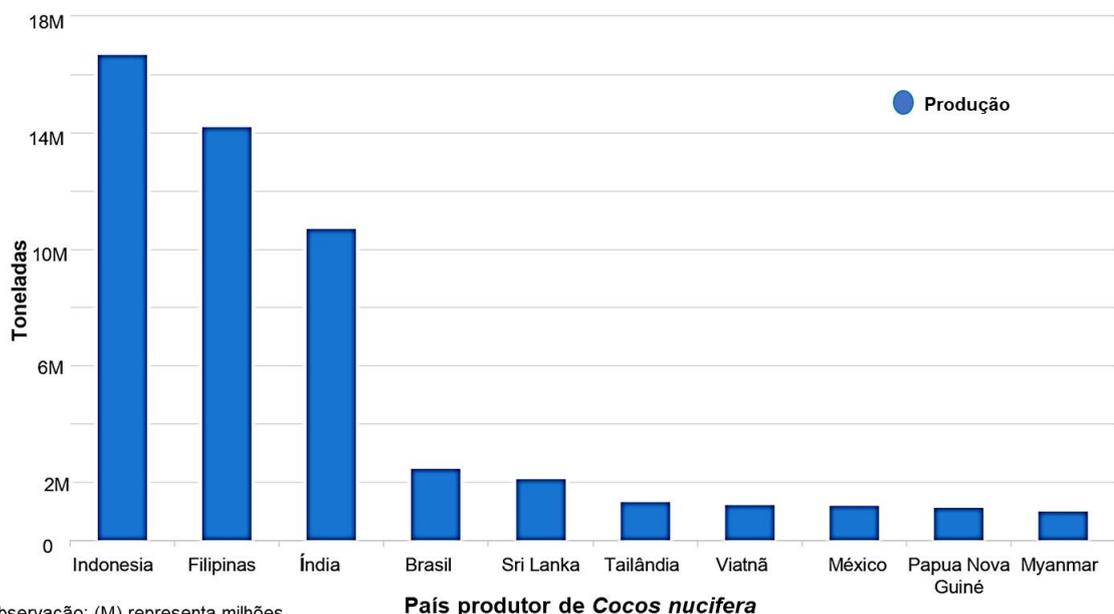
Conforme os dados gerados pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAOSTAT), em 2022, a área mundial colhida com coco foi de 11 milhões de hectares, produzindo aproximadamente 62 milhões de toneladas, entre os principais produtores mundiais temos três países pertencentes ao continente da Ásia, são eles: Indonésia, responsável por cerca de 30% da produção, Filipinas respondendo por 25% e a Índia 19%. No Gráfico 1, que representa a distribuição da produção de coco por continentes, podemos constatar que a Ásia detém 84,3% da produção mundial. O continente americano, representado por 30 países, detém apenas 8,3% dessa produção, sendo os principais produtores o Brasil e o México (Aragão *et al.*, 2010; FAOSTAT, 2020). O Brasil ocupa o quarto lugar, produzindo em torno de 4% da produção mundial (FAOSTAT, 2022).

Gráfico 1 – Produção de *Cocos nucifera* por continentes:

Fonte: FAOSTAT, mar. 2022.

No Gráfico 2, podemos observar que a média entre os anos de 1994-2022, dados referenciados pela FAOSTAT, que entre os dez maiores produtores mundiais de coco, a Indonésia, maior produtor, produziu em torno de 17 milhões e o Brasil 2,5 milhões.

A cocoicultura vem sendo motivada e inserida em várias regiões do país, as maiores plantações e produções convergem para a faixa litorânea do Nordeste e parte da Região Norte do Brasil. Favorecida pelas condições de clima tropical, as regiões detêm 86% da produção do coco brasileiro (Brainer 2020; Brainer, 2021).

Gráfico 2 – Principais produtores de *Cocos nucifera*:

*Observação: (M) representa milhões.

Fonte: FAOSTAT, mar. 2022.

No Brasil, no ano de 2022, em uma área de 189 525 hectares, foi alcançada uma produção de 1 829 612 mil frutos, gerando uma renda no valor de produção de R\$ 1 600 093 reais, sendo a produtividade média de 9 654 frutos/hectares (IBGE, 2022). Sendo a região nordestina a maior produtora do fruto, correspondendo em torno de 63% da produção nacional. Os estados da região Nordeste que se destacam na produção são Ceará, Bahia, Sergipe e Alagoas, segundo dados do IBGE. O Ceará é o maior estado em produção nacional, alcançou em 2022 um rendimento de 572 328 mil frutos, representando aproximadamente 30% da produção no Brasil e com rendimento de 430 937 mil reais (IBGE, 2022). As regiões Sudeste e Norte ocupam o segundo e terceiro lugares, respectivamente, totalizando 189 milhões e 182 milhões de frutos colhidos (IBGE, 2022). A Tabela 1 expõe os principais estados produtores de coco no Brasil e os valores de produção alcançados no ano de 2022.

Tabela 1 – Principais produtores do coco-da-baía no Brasil em 2022:

Estado	Produção (mil frutos)	Valor de produção (mil reais)
Ceará	572 328	430 937
Bahia	340 941	200 097
Pará	175 022	215 701
Sergipe	140 245	138 363
Espírito Santos	123 954	131 677
Alagoas	105 201	127 908
Rio de Janeiro	27 461	44 088
São Paulo	12 960	16 134

Fonte: IBGE/PAM, 2022.

Devemos destacar que no mercado internacional, o fruto do coqueiro é designado para a produção de copra, em sua maioria, sendo os principais produtos o óleo e farinha de coco. Entretanto, a produção destes derivados gera uma alta quantidade de resíduos. Países como Sri Lanka e Índia fazem a reciclagem da casca do coco seco para a produção de fibra longa e substrato em pó, com diferentes utilizações (Brainer; Ximenes, 2020; Brainer; 2021). No Brasil, diferente dos maiores produtores mundiais, os cultivos são voltados para a produção do coco seco *in natura*,

coco ralado, leite do coco, óleo do coco e água do coco (Brainer; Ximenes, 2020; Brainer, 2021).

O mercado do coco verde no Brasil tem aumentado, não somente pelo aumento de áreas de plantios, mas também pelo crescimento do consumo da água do coco, impulsionado especialmente pela introdução de hábitos saudáveis no comportamento da população brasileira (Martins; Jesus Júnior, 2011). A água de coco compete com o mercado de refrigerantes e bebidas isotônicas, ficando com 1,4% desse comércio, gerando mais de 10 bilhões de litros/ano (Fontes; Ferreira; Siqueira, 2002). De acordo com Cunha (2011, *apud* Martins; Jesus Júnior, 2011), são escassas as informações oficiais que dizem respeito ao consumo de água do coco. Presume-se que o coco, vendido de maneira informal, corresponde a 80% do volume consumido no país. Já segundo Cuenca e colaboradores (2002 *apud* Martins; Jesus Júnior, 2011), o consumo do coco no mercado brasileiro representa 65% do coco seco e 35% do coco verde. Desta forma, o impacto causado pela cadeia do coco verde tem gerado descartes inadequados.

O coco verde pesa aproximadamente 1,5kg, sendo composto por 20% de água e 80% de casca. Desta forma, ele representa um produto pesado e volumoso, que ocupa grandes áreas em lixões e aterros sanitários (Fontes; Ferreira; Siqueira, 2002). A casca do coco verde, quando descartado, passa por um processo de decomposição com a ação de microrganismos, que geram a biodigestão da matéria orgânica, liberando metano, um dos gases que contribuem para o efeito estufa (Senhora, 2004; César; Silveira; Cunha, 2009). Cerca de sete milhões de toneladas de casca/ano são descartados em lixões e aterros sanitários, transformando-se em um grave problema ambiental (Miola *et al*, 2020 *apud* Martins; Jesus Júnior, 2011). Por exemplo, na cidade de Salvador, em um estudo divulgado por César, Silveira e Cunha (2009), descreve que no período de 2006 a 2007, a quantidade de cascas de coco verde produzida foi de 416 645 unidades. Sendo a quantidade diária de cascas de coco verde gerada a partir do consumo de água de coco verde, na alta estação (meses de outubro a março) foram em média 2 798 unidades e na baixa estação (meses de abril a setembro) a média foi de 1 375 unidades.

O descarte impróprio da casca do coco verde acarreta uma poluição visual, como podemos observar nas Figuras 5a e 5b. A poluição visual é um dos elementos que compõem a poluição ambiental, que configura em circunstâncias destoantes as ações sociais e econômicas e prejudicam a harmonia e as condições sanitárias do

meio ambiente (Santos, 2004 *apud* César; Silveira; Cunha, 2009). Este tipo de poluição é mais evidente na venda de água do coco *in natura* principalmente nas regiões litorâneas, isto devido à disposição destas cascas em locais inapropriados como lixões (Figura 5c), areia da praia (Figura 5a) e descarte irregular nas ruas (Figura 5b). A ausência de informações sobre o descarte apropriado deste material orgânico, pelos comerciantes do coco e órgãos municipais, eleva o número deste resíduo em regiões produtoras e comercializadoras do coco verde. A elaboração de uma política de reaproveitamento da casca do coco iria contribuir com a redução do lançamento deste resíduo no meio ambiente (César; Silveira; Cunha, 2009).

Figura 5 – Fotos ilustrando o descarte irregular do coco-da-baía.



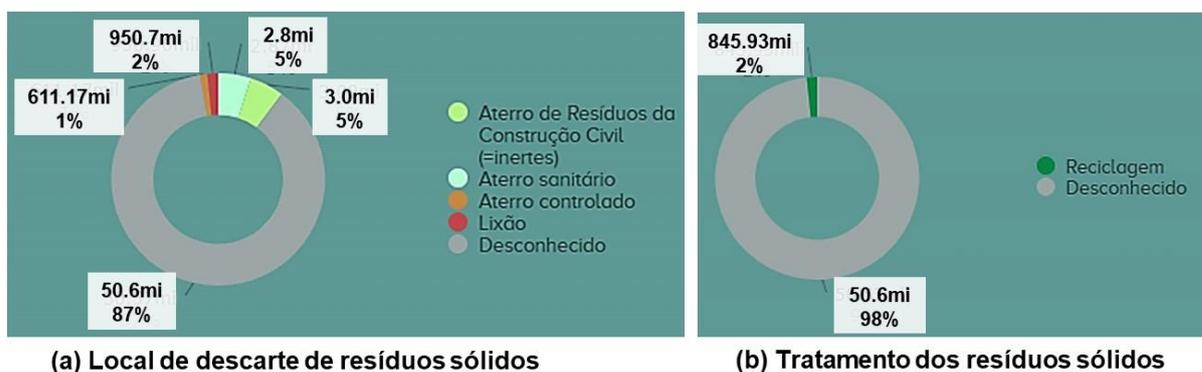
Fonte: Google (a) (c), abr. 2019; (b) Sobral, 2024.

Em uma pesquisa do ano de 2010, os pesquisadores Martins e Jesus Júnior. Estimam que sejam descartados no Brasil aproximadamente 7 milhões de toneladas de coco por ano. O resíduo gerado por esses cocos pode ser reaproveitado, gerando outros produtos, no entanto, são descartados em ambientes não apropriados. Neste estudo, Martins e Jesus Júnior ressaltam que o tempo médio de decomposição desses resíduos (cocos descartados), provenientes do pós-consumo, é em torno de 12 anos. Incontestavelmente estes resíduos gerados quando descartados de maneira imprópria além de colaborar para a poluição ambiental, põe em risco a saúde da população e favorece a transmissão de doenças por meio de vetores como: moscas, mosquitos, baratas e roedores, que encontram condições para seu desenvolvimento nestes resíduos, como fonte de alimento e abrigo (César; Silveira; Cunha, 2009).

Visando diminuir o descarte de resíduos em lixões, o Ministério do Meio Ambiente, desde 2013, vem realizando consultas anuais aos órgãos estaduais e municipais para elaborar um quadro referente à presença de planos de resíduos sólidos e à condição da disposição final dos resíduos coletados. Em 2020, o Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR+) notificou que 96,3% dos estados do Brasil fornecem informações referentes à gestão dos resíduos sólidos. As Regiões Norte (55,1%), Centro-Oeste (54,8%) e Sul (50,4%) apresentaram os maiores percentuais com o fornecimento de declarações relacionadas aos resíduos sólidos, já as Regiões Sudeste (44,2%) e Nordeste (36,3%) ficaram em uma posição abaixo da média nacional.

A destinação final dos resíduos no Brasil ocorre conforme está exposto no Gráfico 3. No Gráfico 3a estão os dados em toneladas dos locais de descarte de resíduos no Brasil. Podemos constatar que 50 milhões e toneladas de resíduos no Brasil são descartados sem destinação conhecida. Já no Gráfico 3b mostra que apenas 2% dos resíduos gerados no Brasil são reciclados (SINIR-Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, 2022).

Gráfico 3 – Panorama da destinação de resíduos sólidos:



Fonte: SINIR, abr. 2024.

A destinação final destes resíduos, com sua reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e o aproveitamento energético, tem como finalidade a redução de danos ou riscos à saúde pública, além de reduzir os impactos ambientais (SINIR-Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, 2022).

Agregando todas as informações obtidas neste estudo, foi elaborado um estudo com o resíduo sólido gerado pelo coco-da-baía e sua utilização ambientalmente correta na produção e otimização de produtos mais nobres a partir desta biomassa vegetal em paridade com a proposta de sustentabilidade. Neste enquadramento, o trabalho objetiva utilizar o mesocarpo do coco para a produção de carvões ativados e carvões ativados funcionalizados.

2.3 CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA BIOMASSA

A utilização do carbono é de origem muito antiga, portanto, a determinação correta da sua primeira utilização não é possível. Antes do uso do que seria o carvão ativado, o carvão era empregado como um adsorvente. O primeiro registro ocorreu em 3750 aC, com os egípcios e os sumérios utilizando o carvão para a redução de cobre, zinco e estanho na fabricação de bronze e como um combustível sem fumaça (Desbyshire; Jagtoyen; Thwaites, 1995 *apud* Menendez-Díaz; Martín-Gullón, 2006). O uso na medicina foi encontrado em Tebas (Grécia), em um papiro de 1550 aC (Baker, 1994 *apud* Menendez-Díaz; Martín-Gullón, 2006). Mais tarde, Hipócrates (cerca de 400 aC) recomendou que a água fosse filtrada com carvão de madeira antes do consumo para eliminar o mau gosto e o odor e impedir várias doenças, incluindo epilepsia e antraz (Menendez-Díaz; Martín-Gullón, 2006; Inagaki; Tascon 2006 *apud* Sarma; Lee, 2018).

A primeira aplicação de carbono ativado na área industrial ocorreu na Inglaterra em 1794, com o uso como agente descolorante na produção de açúcar. Este evento marca o início da pesquisa em carbonos ativados. Entretanto, este evento permaneceu em segredo até 1812, quando a primeira patente surgiu na Grã-Bretanha (Menendez-Díaz; Martín-Gullón, 2006).

Com o uso histórico, o carbono na forma de carvão ativado atualmente é utilizado para remover muitos dos micropoluentes (compostos aromáticos, antibióticos, detergentes, corantes solúveis, solventes clorados, fenóis e derivados de hidroxila) e contaminantes emergentes (incluindo pesticidas e compostos desreguladores endócrinos, incluindo bisfenol) da água, sendo amplamente utilizado nos países desenvolvidos economicamente, assim como em países em desenvolvimento (Inagaki; Tascon 2006 *apud* Sarma; Lee, 2018).

O carvão ativado pode ser produzido, hipoteticamente, de qualquer material carbonáceo (Juan; Ke-Qiang, 2009). Contudo, para a escolha do material precursor, as características devem ser consideradas, fatores como o alto teor de carbono e baixo teor de matéria inorgânica (cinzas) presentes no material de partida. Uma pluralidade de materiais carbonáceos é empregada na produção de carvão ativado.

Na indústria, os principais materiais utilizados são madeira, biomassa lignocelulósica, turfa, linhita e carvão mineral (Bandosz, 2006). Por um longo período, resíduos de petróleo, carvão natural e madeiras foram os principais elementos precursores na preparação dos carvões ativados (Guo; Lua, 2003), mas recentemente houve um aumento no interesse em se produzir carvões ativados de resíduos agroflorestais. Ainda que seja utilizado constantemente, o carvão ativado continua sendo um material caro. Desta forma, precursores de biomassa são mais acessíveis, renováveis e abundantes (Din; Hameed; Ahnad, 2009). As biomassas são consideradas resíduos e compreendem um problema ambiental, desta forma, o aproveitamento desses resíduos sólidos é importante para a economia, acrescentando valor aos produtos obtidos, sendo de materiais de baixo custo e, ao mesmo tempo, se torna uma solução para um problema ambiental (Altenor *et al.*, 2009).

Os carvões ativados são adsorventes multifuncionais. As propriedades adsorptivas ocorrem devido à sua elevada área superficial, estrutura microporosa e alto grau de reatividade superficial. Podem ser utilizadas para purificar, descolorar, desodorizar, separar e concentrar para permitir a recuperação e filtrar, remover ou modificar os constituintes prejudiciais de gases e soluções líquidas. Como resultado, a adsorção de carvão ativado tem relevante utilidade em muitos setores econômicos e abrange áreas como as indústrias alimentícia, farmacêutica, química, petrolífera, nuclear, automobilística e de vácuo, bem como para o tratamento de água potável, águas residuais industriais e urbanas e gases de combustão industriais (Bansal; Goyal, 2005).

Os precursores do carvão ativado são materiais que aumentam suas propriedades durante o tratamento térmico (Claudino, 2003 *apud* Werlang *et al.*, 2013). Regularmente são utilizados resíduos agroindustriais como material de partida para a produção do carvão ativado, por serem materiais abundantes em carbono e lignocelulose (Hayashi, 2000, *apud* Werlang *et al.*, 2013). Estes materiais são utilizados como adsorventes para a remoção de poluentes procedentes da atividade

industrial devido ao seu baixo custo e disponibilidade em abundância (Deng *et al.*, 2011, *apud* Werlang *et al.*, 2013).

Os materiais de carbono utilizados na produção do carvão ativado possuem a estrutura não grafítica (com uma microestrutura altamente desordenada) e passam por processos, físicos e químicos, para aumentar sua porosidade (Claudino, 2003 *apud* Ramos *et al.*, 2009). Embora a estrutura do esqueleto de carbono seja não grafítica, ela pode ser considerada uma mistura de cristalitos semelhantes a grafite e uma fase não organizada composta por estruturas alifáticas e aromáticas complexas. Os cristalitos são compostos por algumas (aproximadamente três) camadas planas paralelas de “grafite” (Smisek; Cerny, 1970 *apud* Menendez-Díaz; Martín-Gullón, 2006). O conjunto de ligações de carbono na superfície dos cristalitos é rompido durante o processo de ativação, produzindo valências relativamente livres (habilidade que um átomo tem de se combinar com outros átomos). Os cristalitos são orientados de forma aleatória e amplamente interconectados. Desta forma, a estrutura do carvão ativado pode ser visualizada como uma pilha de folhas aromáticas pouco desenvolvidas (cristalitos), distribuídas e reticuladas de forma aleatória, separadas por matéria carbonácea desorganizada e matéria inorgânica (cinzas) derivadas do material de partida (Figura 6).

Figura 6 - Representação esquemática da microestrutura do carvão ativado.



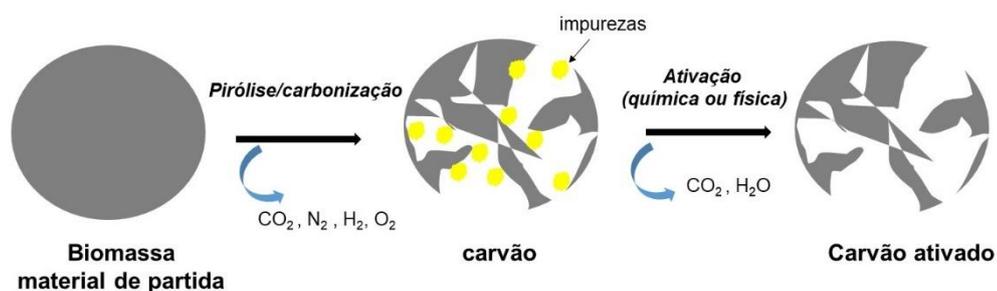
Fonte: Rodriguez-Reinoso; Silvestre-Albero (2016, p. 23).

Os carvões ativados são constituídos de carbono, geralmente com quantidades relativamente pequenas de heteroátomos quimicamente ligados (principalmente hidrogênio e oxigênio) e com alguns constituintes inorgânicos, geralmente dados como cinzas (que representa cerca de 10% do carvão), cuja natureza depende da

matéria-prima utilizada. No entanto, a principal característica dos carbonos ativados é a estrutura porosa.

Durante a pirólise do precursor orgânico, heteroátomos como hidrogênio, oxigênio e nitrogênio são perdidos como produtos gasosos voláteis e os átomos de carbono residuais complementares são agrupados em pilhas de folhas aromáticas não-reticuladas de maneira aleatória. Como o arranjo dessas folhas no carvão resultante é irregular, ele deixa livres interstícios entre eles, que podem se tornar preenchidos ou parcialmente bloqueados com os alcatrões e outros produtos de decomposição (Rodríguez-Reinoso; Silvestre-Albero, 2016). O carvão desenvolvido no processo de pirólise/carbonização tem pouca área de superfície interna. Durante o processo de ativação (química ou física) os interstícios presentes no carvão são os primeiros a reagir com os gases oxidantes, resultando no desenvolvimento de uma estrutura porosa e uma extensa área de superfície interna (Snoeyink; Weber Júnior, 1967; Rodríguez-Reinoso; Silvestre-Albero, 2016). Na Figura 7, está retratado o esquema da transformação do material de partida (biomassa) em carvão ativado, percorrendo entre os processos de pirólise e ativação.

Figura 7 – Etapas da transformação da biomassa em carvão ativado.



Fonte: Sobral, 2024.

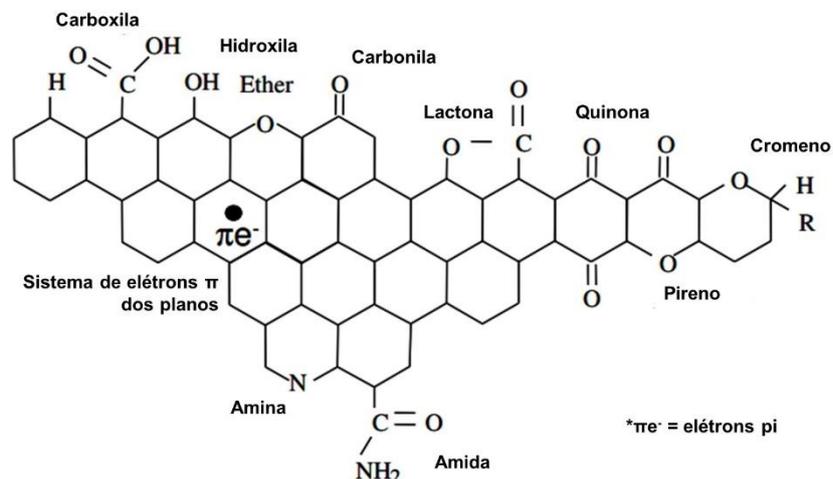
As propriedades adsorptivas do carvão ativado são determinadas não apenas por sua estrutura porosa, mas também por sua composição química. A presença de heteroátomos como, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, cloro, entre outros, que estão ligados nas camadas externas do material de carbono origina uma variedade de grupos funcionais de superfície. Os grupos funcionais têm um grande efeito sobre as

propriedades adsorptivas do carvão ativado, especialmente para moléculas polares ou polarizáveis (Figueiredo; Pereira, 2010; Rodriguez-Reinoso; Silvestre-Albero, 2016).

Os grupos funcionais de superfície podem ser originados a partir da matéria-prima e/ou no processo de ativação. Os grupos de oxigênio são os mais importantes em influenciar as características da superfície e o comportamento de adsorção de carbonos ativados. Esses locais estão associados a altas concentrações de elétrons desemparelhados, desempenhando um papel importante na quimissorção (Figueiredo; Pereira, 2010; Rodriguez-Reinoso; Silvestre-Albero, 2016). As imperfeições estruturais no carvão ativado, ocasionam inúmeras possibilidades de reações com átomos de carbono nas bordas das camadas planas. Como resultado, grupos funcionais contendo oxigênio, estão localizados principalmente nas bordas. A natureza dos grupos de superfície pode conferir um caráter anfotérico ao carbono, de modo que ele pode ser ácido ou básico em solução aquosa (McDougall, 1991).

Os grupos ácidos abrangem ácidos carboxílicos, anidridos, lactonas, lactóis e fenóis, enquanto a carbonila e o oxigênio do éter são neutros ou podem formar estruturas básicas, entretanto a natureza destes grupos continua aberta ao debate, como os grupos quinona, cromeno e pirona. O sistema de elétrons π dos planos basais pode contribuir para a basicidade do carbono (Lahaye, 1998; Fuente *et al.*, 2003; Boehm, 1994; Boehm, 2002; Donnet, 1968 *apud* Figueiredo; Pereira, 2010). Na Figura 8, estão dispostos alguns grupos funcionais presentes no carvão após a sua ativação.

Figura 8 – Grupos funcionais presentes na superfície do carvão ativado.



Fonte: Menendez-Díaz; Martín-Gullón (2006, p. 9).

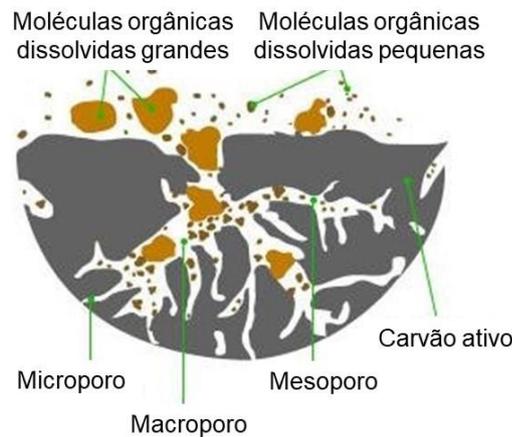
Os carvões ativos, em geral, têm uma superfície interna desenvolvida e são geralmente caracterizados por uma estrutura capilar polidispersa, compreendendo poros de diferentes tamanhos e formas (Bansal; Goyal, 2005). Segundo a IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*, 1982), os poros de um material adsorvente são classificados em função do diâmetro como: microporos (diâmetro $<2\text{nm}$), mesoporos ($2\text{nm} < \text{diâmetro} < 50\text{nm}$) e macroporos (diâmetro $> 50\text{nm}$). Segundo McDougall (1991), o volume dos poros em carvão ativado é geralmente definido como sendo maior que $0,2\text{mL.g}^{-1}$ e a área da superfície interna é geralmente maior que $400\text{m}^2.\text{g}^{-1}$. A largura dos poros varia na faixa dos micros poros ($0,4-2\text{nm}$), tratado desta forma como um material majoritariamente microporoso (McDougall, 1991). Bansal e Goyal (2005) relatam que os adsorventes de carvão ativado mais amplamente utilizados têm uma área superficial específica na ordem de 800 a $1500\text{m}^2.\text{g}^{-1}$ e um volume de poros da ordem de $0,20$ a $0,60\text{cm}^3.\text{g}^{-1}$. O volume dos poros pode chegar a até $1,0\text{cm}^3.\text{g}$ em muitos casos. A área de superfície nos carvões ativos é predominantemente contida em microporos que possuem diâmetros efetivos menores que 2nm . Os carvões ativados também formam, em sua superfície, os mesos e macroporos.

Os macroporos são formados na última fase da reação da ativação, o alargamento dos poros existentes ocorre devido à queima das paredes entre os poros adjacentes, gerando um aumento na porosidade de transição e na macroporosidade, resultando em uma diminuição no volume de microporos (Bansal; Goyal, 2005). No período transitório, estes poros representam cerca de 5% e os microporos cercam de 95% da área de superfície interna (McDougall, 1991). Os mesos e macroporos geralmente contribuem muito pouco para a área de superfície interna total do produto, obviamente irá depender principalmente da natureza da matéria-prima carbonácea empregada no processo. Entretanto, sua principal função é servir como artéria de transporte para partes internas dos grânulos de carbono, sendo deste modo prontamente acessíveis às moléculas maiores que serão adsorvidas (McDougall, 1991). A Figura 9 ilustra a estrutura porosa típica de um carvão ativado e sua absorção.

O teor de cinzas presente nos carvões ativos pode chegar a até 1% em peso quando o precursor é relativamente puro. Já em materiais lignocelulósicos (madeira, casca de frutos de casca rija, poços de frutos etc.) a percentagem pode variar em um intervalo de 1 a 3% em peso. Nos materiais com base lignocelulósica os principais

componentes são os óxidos de silício, magnésio, cálcio, ferro, alumínio e sódio. Os componentes das cinzas desempenham um papel importante nos processos de adsorção, uma vez que modificam a interação da superfície do carbono com a molécula a ser adsorvida (Rodríguez-Reinoso; Silvestre-Albero, 2016).

Figura 9 – Absorção nos macros, mesos e microporos do carvão ativado.



Fonte: Adaptado de McDougall (1991, p.112).

Na atualidade, a comercialização do carvão ativado no Brasil é deficitária. A Indústria Química Brasileira da Associação Brasileira da Indústria Química (ABIQUIM) relatou em sua revista em 2015 que o Brasil importa riquezas que poderia produzir, como o carvão ativado. Nossa indústria química não consegue competir com as concorrentes estrangeiras. O mercado global do carvão ativado ultrapassa a faixa dos 3 bilhões de dólares ao ano. Segundo dados, o Brasil exporta carvão ativado por 1,3 dólar/Kg para países como Uruguai, Paraguai, Bolívia e outros e importa, principalmente dos Estados Unidos e dos países do eixo Ásia-Pacífico, por cerca de 3 dólares o quilo, dados obtidos no período entre janeiro até setembro de 2015 (INT-Instituto Nacional de Tecnologia, 2017).

Ao focarmos estes dados, percebemos que se torna necessário um maior e melhor estudo relacionado à obtenção de carvões ativados. Neste trabalho, existe um empenho em buscar o uso de uma biomassa para sua conversão em carvão ativado.

2.4 BIORREMEDIAÇÃO

A gestão de resíduos é um dos setores mais importantes nos serviços de saúde pública. Devido ao aumento gradativo dos resíduos e a escassez de energia e recursos, as interpelações padronizadas no tratamento de resíduos dificilmente se enquadravam na necessidade do desenvolvimento sustentável e estes processos causam preocupações a sociedade em relação ao meio ambiente, e instituem preocupações aos sistemas ecológicos e à saúde pública. Os desafios ambientais na atualidade estão descritos nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a sociedade científica tem em vista alcançar estas exigências por meio da tecnologia de remediação de resíduos (Marques, *et al.*, 2018). Na Figura 10, podemos observar os dezessete objetivos da ODS. O objetivo seis contempla o objetivo de água limpa e saneamento. Descreve a obtenção de águas isentas de resíduos, ou seja, os corpos hídricos devem passar por um processo de descontaminação não somente por um sistema saneamento básico que seja eficaz, como a utilização de metodologias que não prejudique o meio ambiente, uma vez que o princípio dos ODS é pautado na sustentabilidade.

A poluição da água gera um impasse entre desenvolvimento e preservação do meio ambiente, tornando-se uma preocupação mundial. As metodologias utilizadas geralmente operam com um consumo excessivo de energia, além de serem dispendiosas, apesar de serem amplamente utilizadas (Bwapwa, 2022). A biorremediação é uma tecnologia intrinsecamente interdisciplinar (Barbato; Reynolds, 2021). Ela surge como uma tecnologia que pode ser utilizada conjuntamente com outros métodos de tratamento químico e/ou físico para o gerenciamento de diversos grupos de poluente ambientais e vem adquirindo um interesse entre os pesquisadores, pois a técnica exhibe uma “simplicidade”, baixo custo-benefício e êxito na eliminação de contaminantes. Entretanto, há condições ambientais e biológicas que acarretam dificuldades no processo de biorremediação em função da presença de nutrientes, temperatura, adição ou difusão de oxigênio, pH, metais pesados, presença de compostos tóxicos, fisiologia dos microrganismos, atividade metabólica, eficácia dos mecanismos de remoção de contaminantes e tipo de microrganismos, contudo a supervisão e controle adequados dos fatores citados podem proporcionar uma biorremediação sem falhas (Bwapwa, 2022; Singh *et al.*, 2020; Megharaj *et al.*, 2011; Kaur; Mavi; Raghav, 2019; Barbato; Reynolds, 2021).

Figura 10 - Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS):



Fonte: Bioseta-Inteligência ambiental, mar.2024

A definição da biorremediação está representada nos microrganismos que convertem os poluentes, em água, carbono, dióxido de carbono e outros compostos menos tóxicos que ainda continuam em uma sequência de degradação por outros microrganismos em um processo conhecido como mineralização (Mahmoud, 2021; Kumar *et al.*, 2022 apud Ayilara; Babalola, 2023; Shabbie *et al.*, 2018 apud Hu *et al.*, 2023; Kaur; Mavi; Raghav, 2019; Ayilara; Babalola, 2023). Uma biorremediação eficiente necessita de microrganismos que utilizam suas enzimas para converter poluentes em produtos inóculos (Kaur; Mavi; Raghav, 2019). Os critérios ambientais devem ser ótimos para auxiliar os microrganismos a crescerem e a degradarem os poluentes a um ritmo célere (de la Cueva *et al.*, 2016 apud Kaur; Mavi; Raghav, 2019).

Os microrganismos estão presentes em todos os lugares, são onipresentes na natureza e empregam uma ampla cadeia de substratos como fonte de carbono; desta forma, eles podem ser encontrados em ambientes incomuns onde podem absorver um vasto conjunto de poluentes (Kour *et al.*, 2022 apud Ayilara; Babalola, 2023). Eles também são mutáveis e apresentam capacidade de sobreviver em situações incomuns nos ambientes que terminam por promover sua eficiência. Exemplificando, teremos: os acidófilos sobrevivem em ambientes ácidos, os psicrófilos prosperam no clima frio e os halófilos sobrevivem em regiões salinas (Perera Hemamali, 2022 apud Ayilara; Babalola, 2023). A adaptação das bactérias às condições do meio ambiente ocorre devido a suas características como multifuncionalidade metabólica,

crescimento rápido, moldabilidade genética e ágil adaptação a variações que ocorrem no meio. Para sua subsistência e desenvolvimento, as bactérias requerem basicamente energia, carbono e nutrientes na forma de nitrogênio, potássio, enxofre, fósforo, cálcio, magnésio entre outros (Martins, 2004 *apud* Wetler-Tonini, Rezende, Grativol, 2010).

A técnica de biorremediação em sua maioria é de natureza aeróbica, contudo, processos anaeróbicos também estão sendo otimizados para auxiliar na degradação de poluentes em áreas com déficit de oxigênio (Franchi *et al.*, 2016 *apud* Kaur; Mavi; Raghav, 2019). Os atuais desenvolvimentos na metagenômica e o sequenciamento completo do genoma geraram pesquisas de novos genes envolvidos na biodegradação de poluentes e seus elementos reguladores em microrganismos cultiváveis e não cultiváveis do meio ambiente (Golyshin *et al.*, 2003, Zhao; Poh, 2008 *apud* Megharaj *et al.*, 2011). Confrontando com outros organismos vivos, algas, fungos e plantas, que podem ser utilizados como agentes degradantes de poluentes orgânicos, assim como as metodologias utilizando meios físicos e/ou químicos dispendiosos para a despoluição, os microrganismos são os agentes biologicamente sustentáveis por apresentar capacidades degradáveis em compostos químicos orgânicos podendo desta forma ser utilizados para atenuar locais poluídos (Megharaj *et al.*, 2011; Head, 1998 *apud* Kaur; Mavi; Raghav, 2019).

A biorremediação é geralmente dividida em *in situ* ou *ex situ* indicando respectivamente a remediação no local da contaminação e a remoção para outros locais para remediação (Aggarwal *et al.*, 1990 *apud* Megharaj *et al.*, 2011). Apesar dos métodos de remediação *in situ* e *ex situ* dependerem basicamente do metabolismo microbiano este sistema de tratamento *in situ* é preferido ao de *ex situ*, sobretudo ao se considerar o transporte dos contaminantes para restauração ecológica de solos e ambientes aquáticos contaminados (Jorgensen, 2007 *apud* Megharaj *et al.*, 2011; Pandey; Fulekan, 2012 *apud* Muthukumaran, 2022).

A biorremediação *in situ* é dividida em três categorias, denominadas como bioatenuação, bioestimulação e bioaumentação (Megharaj *et al.*, 2011; Hu *et al.*, 2023). A bioatenuação depende das atividades metabólicas dos microrganismos originais do local contaminado, a bioestimulação depende da adição antropogênica de água, nutriente, doadores ou aceitadores de elétrons, da mesma maneira que a bioaumentação necessita da adição antropogênica de outros microrganismos degradadores de contaminantes ou suas enzimas (Madsen, 1991 *apud* Megharaj *et*

al., 2011; Agnello *et al.*, 2016; Ramadass *et al.*, 2018; Varjani *et al.*, 2020 *apud* Hu *et al.*, 2023). A adequação para uma determinada tecnologia de biorremediação envolve várias condições, tais como as condições do local, a população de microrganismos presentes e a quantidade e toxicidade das substâncias químicas poluentes presentes (Megharaj *et al.*, 2011).

Microrganismos como *Achromobacter sp.*, *Alcaligenes sp.*, *Arthrobacter sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus sp.*, *Mycobacterium sp.*, *Corynebacterium sp.*, *Flavobacterium Nitrosomonas sp.* atestaram ser pertinentes na remediação de poluentes ambientais (Bala *et al.*, 2022; Sharma *et al.*, 2021 *apud* Hu *et al.*, 2023). Mediante a produção de biossurfactantes, bactérias como a *Acinetobacter*, *Pseudomonas* e *Bacillus* apresentam vantagens na remediação de poluentes orgânicos. No meio destas bactérias, *Pseudomonas aeruginosa* destaca-se por converter uma gama de substratos, além disto, o microrganismo está abundantemente disseminado na natureza (Yin *et al.*, 2022 *apud* Hu *et al.*, 2023). As *Pseudomonas* são apresentadas como patógenos oportunistas, sendo responsáveis por pneumonias hospitalares, além de causarem infecções em feridas cirúrgicas (Tuon *et al.*, 2022; Wood *et al.*, 2023 *apud* Hu *et al.*, 2023). Embora cause efeitos nocivos à saúde humana a *P. aeruginosa*, vem sendo atestada como um excelente remediador de poluentes orgânicos emergentes como: pesticidas, fármacos, plastificantes, hormônios, nanopartículas, e em especial nos corpos d'água contaminados com óleos, diesel e querosene (Park *et al.*, 2021; Wongsu *et al.*, 2004 *apud* Hu *et al.*, 2023).

A secreção de ramnolipídios extracelulares, os quais são biossurfactantes, secretados pelas *P. aeruginosa* durante o seu crescimento pode auxiliar na solubilidade da matéria orgânica hidrofóbica, assim como melhorar a capacidade de permeação das membranas celulares e desta forma aumentar a absorção de poluentes pelas células e, desta forma contribuir em última análise, na eficiência da remediação ambiental (Smits *et al.*, 2003; da Silva *et al.*, 2021 *apud* Hu *et al.*, 2023).

A remediação, seja biológica, química ou uma combinação de ambos os meios, apresenta-se como uma opção, uma vez que o problema da poluição precisa ser resolvido sem ser transferido para as gerações futuras. Como a demanda de conhecimento e as complexidades variam para os diferentes tratamentos de biorremediação, uma melhor compreensão das premissas juntamente com as limitações deste processo auxiliam na maximização dos benefícios e na minimização do custo dos tratamentos (Megharaj *et al.*, 2011).

2.4.1 Bioestimulação

A biorremediação é um processo aprovado para a descontaminação do meio ambiente. A tecnologia utiliza o aumento da renovação biológica natural de contaminantes químicos em compostos com menor toxicidade. O processo de biorremediação deve seguir quatro premissas fundamentais. A primeira premissa seria que os contaminantes ambientais devem fazer parte da fonte primária de carbono, convertendo-os em dióxido de carbono, metano, água e ácidos graxos para suprir os microrganismos, agindo assim como doadores de elétrons. A segunda premissa seria a oferta de energia para ser extraída pelo aceptor de elétrons, sendo nas condições aeróbicas o oxigênio e na condição anaeróbica o nitrato ou sulfato. A terceira premissa estaria fundamentada na importância da presença de macro e micronutrientes, que devem estar disponíveis, como carbono, nitrogênio e fósforo. As premissas descritas devem conservar os parâmetros ideais para inibir a microbiota indígena do local (Glick, 2003; Collins, 2007 *apud* Peralta, 2022).

A bioestimulação por apresentar-se multifuncional, pode ser combinada com outras técnicas. A bioestimulação foi estabelecida como uma das estratégias para otimizar a biorremediação por meio da adição de nutrientes limitantes e receptores de elétrons como, fósforo, nitrogênio, oxigênio ou carbono, que normalmente estariam à disposição em baixas concentrações para limitar a atividade microbiana, desta forma o ambiente é alterado e as bactérias aptas para a biorremediação são estimuladas (Adams *et al.*, 2020 *apud* Maldonado *et al.*, 2022; Ossai *et al.*, 2019 *apud* Peralta, 2022). O processo pode ser potencializado com a aeração, conhecida como bioventilação, que reduz significativamente a concentração da demanda química de oxigênio (DQO), que corresponde a quantidade de oxigênio básica para decompor a matéria orgânica (Wang *et al.*, 2002; Aziz *et al.*, 2007; Marañón *et al.*, 2008; Castrillón *et al.*, 2010; Felici, 2010; Castro, 2012 *apud* Kawahigashi, *et al.*, 2014). A bioestimulação mostra-se acessível, ecologicamente correto e eficiente quando comparada com a técnica de bioaumentação. A bioestimulação é mais efetiva, já que os microrganismos nativos são mais competitivos do que os introduzidos (Sayed *et al.*, 2021 *apud* Ayilara; Babalola, 2023), além de manter o equilíbrio original da diversidade microbiana do ambiente (Ayilara; Babalola, 2023).

Microrganismos como *Bacillus sp.*, *Rhodococcus sp.*, *Staphylococcus sp.*, *Klebsiella sp.*, *Pseudomonas sp.* e *Citrobacter sp.* foram utilizados na biorremediação

com bioestimulação para descontaminar ambientes com a presença de metais pesados (Nivetha *et al.*, 2022 apud Ayilara; Babalola, 2023). Entretanto, apesar da técnica ser efetiva, ela pode ocasionar distúrbios ambientais, acarretando eutrofização devido ao excesso de nutrientes presentes no ambiente. Existe também a possibilidade da poluição do meio ambiente se a procedência dos nutrientes for química (sintetizados), levando à anulação do propósito da biorremediação (Ayilara; Babalola, 2023).

Ijoma e coladores (2022) descrevem em seu artigo que a bioestimulação é uma técnica da biorremediação *in situ* utilizada em corpos d'água contaminados com o provimento de nutrientes facilitadores para o crescimento como nitrogênio e fósforo para auxiliar na interação de microrganismos exógenos ou autóctones na degradação de regiões contaminadas. No passado, a bioestimulação era utilizada apenas em locais contaminados por hidrocarbonetos, o que facilitava o crescimento de microrganismos nativos e gerava a decomposição do petróleo bruto (Macaulay; Rees, 2014 apud Ijoma *et al.*, 2022).

2.4.2 Microrganismos imobilizados para a biorremediação

Diariamente, um volume abundante de águas residuais são lançados no meio ambiente provenientes de fontes industriais e domésticas. Apesar do estabelecimento de leis, métodos e protocolos implantados pelos governos, a produção de resíduos não pode ser completamente eliminada ou evitada, por isso, processos eficientes de tratamento e reutilização de águas residuais tornam-se cruciais para um ambiente sustentável (Mehrotra *et al.*, 2021).

Uma extensa variedade de contaminantes podem ser encontrados nas águas residuais, principalmente os compostos orgânicos tais com: fenol, naftaleno, formaldeído, trietilamina, bisfenol, acrilamida, além de, hidrocarbonetos como petróleo bruto, diesel, e produtos petrolíferos (Partovinia; Rasekh, 2018; Cesaro; Naddeo; Belgiorno, 2013 apud Mehrotra *et at.*, 2021; Bouabidi; El-Naas; Zhang, 2019). Na indústria têxtil, gráfica e de couro, teremos a presença de azo-corantes (Kumar *et al.*, 2019; apud Mehrotra *et at.*, 2021; Bouabidi; El-Naas; Zhang, 2019). Os metais tóxicos são outro grupo de poluentes oriundos de águas residuais da indústria de mineração e metalúrgica, particularmente, o arsênio (As), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), cobre

(Cu), cromo (Cr) e selênio (Se) (Gumpu *et al.*, 2015; Klamkhash *et al.*, 2017 *apud* Mehrotra *et al.*, 2021). O esgoto doméstico forma outro grupo de poluente da água residual com a presença de compostos de nitrogênio (N) e fósforo (P) como íons nitrato (NO_3^-), amônia (NH_4^+) e fosfato (PO_4^{3-}). Estes compostos geram a eutrofização quando não adequadamente tratados (Tang *et al.*, 2017 *apud* Mehrotra *et al.*, 2021). Existe a ocorrência dos micropoluentes pertencem à categoria de contaminantes emergentes que incluem os compostos farmacêuticos (Mehrotra *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2007), substâncias perfluoroaquil e polifluoroaquil (PFAS) (Vo *et al.*, 2020; Mehrotra *et al.*, 2021) e mais recentes os microplásticos (Li; Liu; Chen, 2018; Mehrotra *et al.*, 2021).

O uso de microrganismos possui vantagens como tolerância e menor poluição secundária, além de se enquadrar nos padrões de desenvolvimento sustentável (Palanivel *et al.*, 2020 *apud* Gong *et al.*, 2022; Bilal *et al.*, 2019). Microrganismos com funções catalíticas, incluindo fungos (exemplo: *Pleurotus eryngii* e *Trametes versicolor*), algas (exemplo: *Chlamydomonas reinhardtii* e *Monoraphidium braunii*), e bactérias (exemplo: *Rhodococcus erythropolis* e *Pseudomonas aeruginosa*), podem ser utilizados na remediação de poluentes ambientais (Gong *et al.*, 2022).

Entretanto, a tecnologia microbiana é considerada restrita devido a algumas características, (Chen *et al.*, 2016; Shen *et al.*, 2017 *apud* Gong *et al.*, 2022) tais como, o fato dos microrganismos isolados de locais contaminados serem limitados por suas condições de vida específicas, impedindo a ampliação da comunidade para aplicações práticas, além da morosidade temporal para os tratamentos físicos e/ou químicos, ou mesmo pela presença de toxinas, ou parasitas que limitam a biorremediação (Jun *et al.*, 2019 *apud* Gong *et al.*, 2022; Mallory; Yuk; Alexander, 1983; Murakami; Alexander, 1989 *apud* Prabu; Thatheyus, 2007; Mallory; Yuk; Alexander, 1983; Charoenpanich, 2013). O êxito na biorremediação se deve ao microrganismo específico introduzido no meio ambiente conseguir degradar os poluentes nele presentes (Mallory *et al.*, 1983; Murakami; Alexander, 1989 *apud* Prabu; Thatheyus, 2007).

Ainda assim, a biorremediação contribuiu para a remoção de contaminantes presentes no meio ambiente, a partir da mineralização dos poluentes, convertendo-os em substâncias inertes como dióxido de carbono e água (Pereira; Lemos, 2005 *apud* Pinho *et al.*, 2018; Pratush *et al.*, 2018 *apud* Ayilara; Babalola, 2023). Equitativamente, a imobilização busca a conversão de compostos químicos em substratos não tóxicos

ao ambiente, como, por exemplo, a conversão de nitrato em nitrogênio gasoso (Pratush *et al.*, 2018 *apud* Ayilara; Babalola, 2023). Para tal, diferentes mecanismos para efetivação são adotados, dentre os quais se destacam a imobilização e a mobilização (Ndeddy Aka; Babalola, 2016; Verma; Kuila, 2019 *apud* Ayilara; Babalola, 2023). Na mobilização ocorrem processos de oxidação enzimática, biolixiviação, bioestimulação, bioaumento e redução enzimática. Já na imobilização, os processos são descritos como bioacumulação, complexação, bioissorção e precipitação (Tak *et al.*, 2012; Avangbenro *et al.*, 2019 *apud* Ayilara; Babalola, 2023).

Na pesquisa realizada por Kotresha e Vidyasagar (2017), eles abordam o tratamento de efluentes fenólicos e as restrições na probabilidade de encontrar microrganismos adequados que superem as ações de cultivo desde os seus habitats naturais até as condições encontradas nos efluentes. A técnica de imobilização celular parece ser propícia no desenvolvimento da biotecnologia para remoção de fenólicos, xenobióticos entre outras substâncias detectadas nos efluentes industriais (Murugesan, 2003 *apud* Kotresha; Vidyasagar, 2017).

Diferente das células livres, os microrganismos imobilizados possuem uma maior densidade e atividade celular, além de serem mais acessíveis durante a coleta sendo reutilizáveis, diminuindo o tempo e os custos operacionais durante a biorremediação de resíduos antropogênicos (Sheldon; van Pelt, 2013 *apud* Gong *et al.*, 2022; Dwyer *et al.*, 1986 *apud* Prabu; Thatheyus, 2007; Charoenpanich, 2013; Li; Liu, Chen, 2018a). São inúmeras as vantagens da imobilização e dentre elas destaca-se proteção das células contra desordens ambientais externas, como congelamento e descongelamento (Leung *et al.*, 1995 *apud* Kotresha; Vidyasagar, 2017), ciclos úmidos e secos (Trevors *et al.*, 1993 *apud* Kotresha; Vidyasagar, 2017), bacteriófagos (Smit *et al.*, 1995 *apud* Kotresha; Vidyasagar, 2017) e a presença de compostos tóxicos nos efluentes (Cassidy *et al.*, 1996 *apud* Kotresha; Vidyasagar, 2017).

Prabu e Thatheyus (2007) comprovaram em sua pesquisa o benefício da imobilização ao demonstrar que *Pseudomonas aeruginosa* começaram a atividade de degradação após sua incubação por 24 horas, entretanto, as células imobilizadas iniciaram antes de 24 horas. Apesar disto, a efetivação de células imobilizadas pode ser prejudicada, produzindo remodelação em sua atividade microbiana por alterações no pH, temperatura e formação de intermediários metabólicos (Nawaz; Billedeau; Cerniglia, 1998; Buranasilp; Charoenpanich, 2011 *apud* Charoenpanich, 2013; Prabu; Thatheyus, 2007;). Apesar das limitações a imobilização de microrganismos tornou-

se uma técnica habitual para atender a remediação de áreas contaminadas e os materiais transportadores desempenham um papel fundamental na imobilização.

Conceitualmente, um sistema de imobilização deve oferecer uma troca rápida, alta adesão e exclusão eficiente de substâncias contaminadas. O carreador deve ser atóxico e que não interfira nas células microbianas durante o processo de fixação. Polímeros (naturais ou sintéticos), biomassa e lignocelulósica são normalmente usados como matrizes de suporte para imobilização/aprisionamento de bactérias ou biomacromoléculas (Das; Adholeya, 2015 *apud* Metrotra *et al.*, 2021). Entretanto, materiais a base de biomassa possuem as características apropriadas, além de serem economicamente sustentáveis e abundantes (Zhang *et al.*, 2021).

Hoje, base de carbono são muito utilizados na imobilização. E estes transportadores possuem propriedades como alta resistência mecânica, são insolúveis e possuem uma superfície ajustável (Nasrollahzadeh *et al.*, 2021; Wu *et al.*, 2020).além disto, apresentam uma grande superfície específica que fornece o suporte de microrganismos, auxiliando o contato entre microrganismos e poluentes na superfície e no interior dos transportadores. A alta porosidade fornece espaços estáveis para microrganismos e os protege de danos (Jiang *et al.*, 2022). Usualmente, os materiais com matriz de carbono usados como transportadores incluem carvão ativado, nanotubos de carbono, grafeno e seus derivados (Wu *et al.*, 2021).

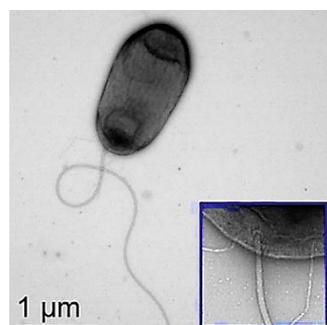
Zang e Wang (2021 *apud* Gong *et al.*, 2022), assim como Mita e colaboradores (2015), relatam que microrganismos imobilizados com carvão ativado, quando utilizados no tratamento da poluição, podem apresentar um efeito sinérgico na remoção de poluentes (adsorção e biodegradação). Ainda em sua pesquisa, Mita e colaboradores (2015) relatam de que o carvão ativado adsorve compostos hidrofóbicos, incluindo o bisfenol (composto químico utilizado na produção de variados tipos de plástico) e é amplamente utilizado na remoção de contaminantes em sistemas de tratamento de água ou gás, embora, a principal desvantagem do carvão ativo seja o custo de sua regeneração quando sua capacidade adsortiva está exaurida. A sinergia no método auxilia à regeneração biológica (bioregeneração) dos adsorventes e impulsiona a formação de biofilme microbiano imobilizado no carvão ativo. Assim, combinando a propriedade de adsorção do carbonáceo ativo com a remoção microbiana, a vida útil do carvão ativado pode ser estendida (Mita *et al.*, 2015).

2.4.2.1 Biorremediação com *Pseudomonas aeruginosa*

A biotransformação e biodegradação tem sido estudada visando compreender a ecologia, fisiologia e o desenvolvimento microbiano para sua melhor aplicação na biorremediação (Bouwer; Zehnder, 1993; Chen *et al.*, 1999; Johan *et al.*, 2001; Mishra *et al.*, 2001; Watanabe, 2001 *apud* Dua; Singh; Johri, 2002). O processo de biorremediação depende de vários fatores, como biomassa microbiana, diversidade populacional, atividades enzimáticas, características físico-químicas do substrato, composição molecular do poluente e sua concentração. Fatores ambientais também influenciam tais como, pH, temperatura, umidade, oxigênio dissolvido, nutrientes, fonte de carbono e a presença de metabólitos que auxiliam na utilização dos poluentes pelos microrganismos (Boopathy, 2000; Van Hamme *et al.* 2003, Jacques *et al.* 2007; Seo *et al.*, 2009 *apud* Wetler-Tonini; Resende; Gravitol, 2010).

A degradação microbiana de poluentes orgânicos é eficaz e adequada ecologicamente e a *P. aeruginosa* surge como uma possibilidade na biorremediação por ser um bacilo nutricionalmente versátil, além de possuir inúmeras linhagens que estão disponíveis em coleções de células em todo mundo (Omran; Tseng; Baaek, 2024). *P. aeruginosa* (Figura 11) é um bacilo Gram-negativo, aeróbio, não fermentador, com forma de bastonetes isolados ou em pares, movidos por flagelos polares (Kiska; Gilligan, 1999; Trabulsi *et al.*, 1999 *apud* Mata; Abegg, 2007).

Figura 11 – Microscopia eletrônica exibindo a célula de *P. aeruginosa*.



Fonte: Adaptado de van Ditmarschi *et al.*, (2013, p. 702)

O grupo formado pelas bactérias *Pseudomonas* é o mais numeroso no planeta, podendo ser encontrado nos principais ecossistemas, terrestre e aquático, assim como em associação com plantas e animais (Spiers *et al.*, 2000 *apud* Mata; Abegg, 2007). Ela também faz parte da microbiota do ser humano, sendo encontrada na pele, garganta e fezes de indivíduos saudáveis. São conhecidas como bactérias oportunistas, já que em pessoas com baixa imunidade podem provocar doenças (Silva, 1999; Murray *et al.*, 2000 *apud* Pinho *et al.*, 2018). Bactérias Gram-negativas são geralmente associadas a infecções hospitalares, como a *P. aeruginosa*, tornando-se corriqueiras descrições de resistência a antibióticos (Mata; Abegg, 2007). Independentemente de apresentar efeitos nocivos à saúde humana, *P. aeruginosa* evidencia um potencial na sua utilização, principalmente em corpos d'água contaminados com óleo pesado, diesel e querosene (Park *et al.*, 2021; Wongsa *et al.*, 2004 *apud* Hu *et al.*, 2023). Isto ocorre devido aos ramnolipídios extracelulares, biossurfactantes secretados pelas bactérias *P. aeruginosa* durante o crescimento (Smits *et al.*, 2003 *apud* Hu *et al.*, 2023).

Na biorremediação *P. aeruginosa* é um exemplo importante para degradação de poluentes com presença de substâncias orgânicas, isto porque esta bactéria possui diversas vias metabólicas e capacidade de produzir biossurfactantes, que torna os substratos hidrofóbicos mais biodisponíveis, auxiliando na degradação (Hu *et al.*, 2023).

Os biossurfactantes produzidos por *P. aeruginosa* contêm ramnose- glicolipídio sob condições ambientais específicas. O ramnolipídios produzido depende da cepa, da fonte de carbono utilizada e das condições de cultivo (Fontes *et al.* 2008 *apud* Pinho *et al.*, 2018). Os ramnolipídios são biossurfactantes pertencentes à classe dos glicolipídios. As bactérias *P. aeruginosa* podem produzir até seis tipos de ramnolipídios, que apresentam atividade superficial e estrutura química análogas, conseguindo limitar a tensão superficial da água (Wei *et al.* 2005 *apud* Pinho *et al.*, 2018).

Os biossurfactantes vêm sendo amplamente estudados pela comunidade científica por suas características físico-químicas e tensoativas que lhes proporciona uma variedade de aplicações, abrangendo áreas como a biorremediação, recuperação terciária do petróleo, aditivos em alimentos, fármacos e tintas, produtos de limpeza e cosméticos (Henkel *et al.* 2012 *apud* Pinho *et al.*, 2018).

Kahlon e colaboradores (2016 *apud* Medic' *et al.*, 2019) relata que *P. aeruginosa*, são reconhecidas por exibir a capacidade de crescer em diversos ambientes e com diferentes fontes de carbono, tendo se mostrado promissora na remediação de locais poluídos por substâncias orgânicos pouco biodegradáveis.

No estudo de Mita e colaboradores (2015) descreve a utilização de biofilme bacterianos de diversas cepas, entre elas a *P. aeruginosa*, imobilizados em carvão ativado como um sistema de remoção de compostos fenólicos e observou uma redução na concentração de poluentes.

A imobilização de *P. aeruginosa* em colmos de milho mostrou-se eficiente na degradação de resíduos de petróleo (Zhang *et al.*, 2021). *P. aeruginosa* e o *Brevibacillus choshinensis* apresentou máxima atividade de descoloração em presença de glicose a 10% e foram relatados como eficazes cepas bacterianas para biorremediação de efluentes têxteis (Durve; Gupta; Napha, 2012 *apud* Gül, 2018). Os microrganismos usam moléculas de corantes aromáticos como fontes de nutrientes ou energia no processo de biorremediação (Rajeswari; Subashkumar; Vijayaraman, 2011 *apud* Gül, 2018).

Pseudomonas sp. estão entre outras cepas que utilizam o bisfenol como fonte de carbono (Zhang *et al.* 2007; Kang; Kondo 2002 *apud* Sarma; Lee, 2018) e o estudo revela que estas cepas podem, quando combinada com carvão ativado oriundo de biomassa lignocelulósica, mostrar uma perspectiva na biofiltração (Sarma; Lee, 2018).

Kaur, Mavi e Raghav, (2019) escreverem em seu artigo que *P. aeruginosa* possui uma habilidade na remoção de metais pesados como chumbo, cobre, cádmio e cromo. Assim esta bactéria pode ser utilizada de forma eficaz na biorremediação de metais pesados, uma vez que os metais estão direta e indiretamente envolvidos em todos os aspectos do metabolismo do crescimento microbiano.

Biorremediações feitas por bactérias são reconhecidas como potencial alternativa às tecnologias existentes para a remoção de uma gama de poluentes. Assim sendo, este estudo traz uma tentativa inovadora, econômica e ambientalmente sustentável para a biorremediação de contaminantes presentes no rio Camarajipe.

2.4.3 Biorremediação de água contaminada com corante

A utilização de substâncias coloridas, a partir de fontes naturais, para conferir cor a utensílios e tecidos foi descrita no ano de 2000 a.C. pelos fenícios (King; Stager, 2002 *apud* Zanoni; Yamanka, 2016). Já as primeiras técnicas de tingimento são originárias da China e da Índia (Venkataraman, 2971 *apud* Zanoni; Yamanka, 2016). Desde 1856, após a síntese do primeiro corante artificial, que ocorreu na Inglaterra, houve uma busca para a implantação de corantes sintéticos. Eles foram desenvolvidos para diminuir o custo da produção, maior pureza, uma melhor fixação da cor e pela infinita possibilidade de síntese, proporcionando uma diversidade de cores e tonalidades.

O mercado dos corantes movimenta aproximadamente US\$ 7,7 bilhões, excluindo os pigmentos neste cálculo. O Brasil produz um grande volume de corantes, entretanto não produz o suficiente para suprir o mercado nacional, tornando-se dependente do mercado internacional de corantes (Zanoni; Yamanka, 2016). Fontes indicam que mais de 100 000 compostos diferentes compõem os corantes, com produção mundial anual variando de 700 000 a 800 000 toneladas (Anjaneya *et al.*, 2011 *apud* Singh *et al.*, 2020; Abdi *et al.*, 2017b; Abdi *et al.*, 2017b; Kathersan *et al.*, 2018 *apud* Bilal *et al.*, 2022). A indústria têxtil representa um grande consumidor de diversos tipos de compostos químicos, além de utilizar grandes volumes de água. Calcula-se que sejam necessários entre 50 e 90g de corante (Bera; Tank, 2021 *apud* Sudarshan *et al.*, 2023) e 200L de água para produzir um quilograma do produto têxtil (Ghaly *et al.*, 2014 *apud* Sudarshan *et al.*, 2023).

Os corantes sintéticos são amplamente utilizados em diversas áreas da indústria. Os corantes são usados na coloração permanente de fibras e outros produtos de consumo incluindo alimentos, cosméticos, produtos farmacêuticos, papéis etc. Corantes têxteis são compostos orgânicos que interagem com os grupos funcionais nas superfícies dos tecidos para produzir cor, fixação e resistência a ação dos detergentes (Yagub *et al.*, 2014 *apud* Chong; Tam, 2020).

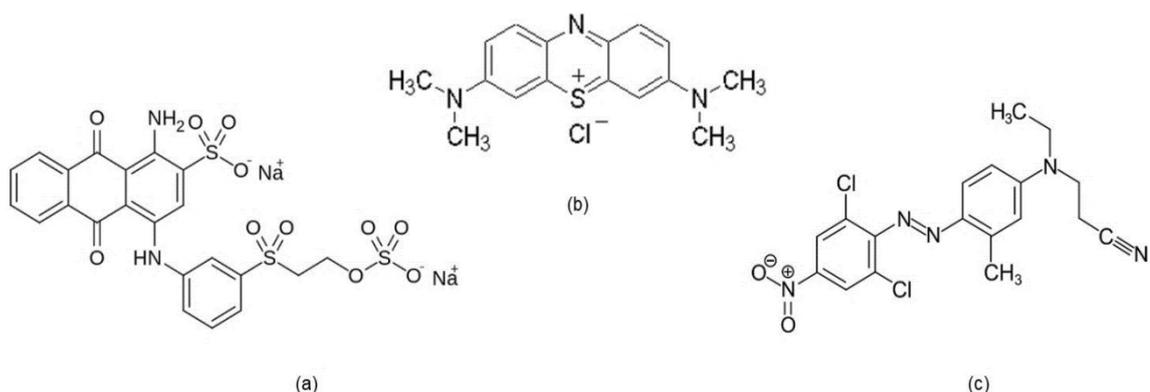
Peláez-Cid e colaboradores (2016 *apud* Yusop; Abdullah; Ahmad, 2023) relatam em seu artigo que a classe de corantes altamente solúveis em água, possuem potencial para sofrer hidrólise, impedindo a sua capacidade de se ligarem eficazmente ao substrato têxtil. Como resultado, isso leva à produção de efluentes altamente poluídos e com cores. Um exemplo seria o corante azul brilhante de remazol R

($C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$) em contato com a água, sofre dissociação gerando íons negativos. Esses íons negativos são atraídos pela carga positiva da molécula da água, que por sua vez aumenta a dissolução deste corante nos efluentes têxteis (Yusop; Abdullah; Ahmad, 2023).

Os corantes podem ser classificados de muitas formas como: naturais ou sintéticos (Mirjalili; Nazarpour; Karimi, 2011 *apud* Chong; Tam, 2020); cromóforos (Phalakornkule, 2010 *apud* Chong; Tam, 2020) e suas aplicações (Phalakornkule *et al.*, 2010; Kaykhaii; Sasani; Marghzari, 2018 *apud* Chong; Tam, 2020). Com base na carga das partículas, elas podem ser classificadas em formas não iônicas (corantes dispersos), aniônicas (corantes diretos, ácidos e reativos) e catiônicas (corantes básicos) (Fu; Viraraghavan, 2001; Yagub *et al.*, 2014; Vikrant *et al.*, 2018; Varjani *et al.*, 2020 *apud* Sudarshan *et al.*, 2023; Ihsanullah *et al.*, 2020; Robinson *et al.*, 2001 *apud* Chong; Tam, 2020).

O corante azul brilhante de remazol R (Figura 12a) pertence ao grupo de corante aniônico e ele representa um exemplo de um corante sintético que pertence ao grupo azo. Devido ao seu baixo consumo de energia, estabilidade química e tecnologia de aplicação simples, esse corante é amplamente utilizado na indústria têxtil (Jawad *et al.*, 2022 *apud* Yusop; Abdullah; Ahmad, 2023). Este corante apresenta propriedades cancerígenas, mutagênicas e tóxicas, podendo causar doenças graves após contato prolongado (Lellis *et al.*, 2019 *apud* Yusop; Abdullah; Ahmad, 2023). Por isso, tratar adequadamente as águas residuais contendo corante azul brilhante de remazol R antes de seu descarte no meio ambiente.

Figura 12 - Estrutura química (a) azul brilhante de remazol R, (b) azul de metileno e (c) disperse orange 37:



O azul de metileno ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) (Figura 12b) se enquadra no grupo de corante catiônico que possui uma molécula química aromática heterocíclica e é frequentemente usado para tingir lã, seda e algodão (Bilal *et al.*, 2022). Apesar do corante azul de metileno não ser altamente perigoso, ele pode causar alguns efeitos prejudiciais como aumento da frequência cardíaca, vômitos, choque, cianose, icterícia e necrose tecidual em humanos (Valdivelan; Kumar, 2005 *apud* Hameed; Latiff, 2007). Sendo assim, a remoção desse corante do efluente torna-se ambientalmente importante.

Corantes não iônicos são de natureza neutra, uma vez que a área com elétrons no cromóforo é compartilhada igualmente entre dois átomos idênticos (Yusop *et al.*, 2022 *apud* Yusop; Abdullah; Ahmad, 2023). O disperse Orange 37 ($C_{17}H_{15}Cl_2N_5O_2$) se enquadra no grupo de corante não iônico (Figura 12c). Ele também pertence ao grupo de azocorantes e eles são usados para produzir uma gama de tonalidades de cores sendo selecionados pelas indústrias porque são baratos e de fácil utilização (Malinauskiene *et al.*, 2013 *apud* Overdahl *et al.*, 2011). Corantes dispersos não se ligam quimicamente às fibras, as moléculas lipofílicas podem migrar para a pele de uma pessoa através da peça de roupa. Os corantes também podem ser removidos das fibras das roupas por fricção ou lixiviação em água (Malinauskiene *et al.*, 2013 *apud* Overdahl *et al.*, 2011).

As moléculas de um corante são formadas por duas partes denominadas, cromóforos e auxocromos (Nghah; Teong; Hanafah, 2011 *apud* Chong; Tam, 2020) (Tabela 2). Os auxocromos são substituintes doadores de elétrons que aumentam a capacidade dos cromóforos de absorver o comprimento de onda. Já os cromóforos são formados por grupos de retiradores de elétrons deslocalizados que são responsáveis pela cor do corante. Esses elétrons deslocalizados absorvem a região visível da radiação eletromagnética (Chong; Tam, 2020).

Tabela 2 - Descrição de alguns grupos cromóforos e auxocromos:

Cromóforo		Auxocromo	
-N=N-	Azo	-OH	Hidroxila
-CH=N-	Azometila	-NH ₂	Amino primário
2R-C=O	Carbonil	-NH-R	Amino secundário
-N=NO-	azóxi	2R-N-R	Amino terciário
2R-C=S	Tiocarbonila	-OCH ₂	Metoxila
-N=O	Nitroso	-CH ₃	Metila
2R-C=C-2R	Etenodiilideno	-NO ₂	Nitro
		-Br	Bromo
		-Cl	Cloro

Fonte: <http://www.deboni.he.com.br/pigmentos.pdf>, mar. 2024.

A presença de corantes na água, mesmo em pequenas concentrações, pode ter impactos ambientais devido à sua natureza cancerígena e mutagênica da maioria dos corantes. O avanço de procedimentos de baixo custo, simples, eficazes e ecológicos para a remediação de corantes de águas residuais é essencial, para evitar os seus efeitos prejudiciais. Deste modo, pesquisas têm sido desenvolvidas para obter novos procedimentos para a remediação de águas residuais contendo corantes (Ihsanullah *et al.*, 2020).

Efluentes lançados pelas indústrias têxteis contêm vários corantes orgânicos, além de um excesso de sólidos e líquidos residuais contendo cromo hexavalente, sais de zinco, sulfato, cobre, chumbo. O tratamento destes resíduos torna-se fundamental antes de serem descartados no meio ambiente devido à toxicidade e carcinogenicidade (Kaur; Mavi; Raghav, 2019). Pesquisas descrevem que, globalmente, cerca de 280 000 toneladas de corantes têxteis são libertas no ambiente por meio de águas residuais da indústria têxtil a cada ano (Berradi *et al.*, 2019 *apud* Sudarshan *et al.*, 2023). Os corantes podem manter-se no meio ambiente quando as águas residuais não são tratadas adequadamente. Por exibir uma alta solubilidade em água, os corantes são poluentes altamente prejudiciais para a água potável e a vida aquática, mesmo em níveis altamente diluídos (Ashraf *et al.*, 2019; Popli; Patel, 2015; Mahm *apud* Bilal *et al.*, 2022). Temos o exemplo do corante hidrolisado azul reativo 19, a meia-vida do corante é em torno de 46 anos, nas condições ambientais de um pH 7 e temperatura aproximada de 25°C (Carmen; Daniela, 2012; Awasthi; Datta, 2019 *apud* Sudarshan *et al.*, 2023).

Várias classes de corantes atualmente utilizados não são suscetíveis à degradação ou eliminação com os métodos físico-químicos (Singh *et al.*, 2020). Estudos demonstraram que 20 a 35% dos corantes podem permanecer sem sofrer alterações após passarem pelas estações de tratamento e são lançados nos corpos hídricos (Abadulla *et al.*, 2000 *apud* Singh *et al.*, 2020; Haghghat *et al.*, 2020 *apud* Bilal *et al.*, 2022). Isto porque, o tratamento de corantes em águas residuais industriais apresenta vários problemas, já que os corantes geralmente possuem origem sintética e estruturas moleculares aromáticas complexas que os tornam estáveis e geralmente difíceis de serem biodegradados e fotodegradados (Moosavi *et al.*, 2020).

A adsorção surge como um dos métodos mais eficazes e de baixo custo, isto porque o manuseio do método de adsorção é comparativamente seguro, simples, de alta eficiência no tratamento de corantes (Ramírez Calderón *et al.*, 2020 *apud* Bilal *et al.*, 2022). Sucintamente, a adsorção ocorre com a captura de moléculas de corante pelo adsorvente via interações físicas e químicas. O método depende ativamente do adsorbato (auxocromos) e dos critérios dos adsorventes utilizados, ou seja, tamanho de partícula, área superficial, temperatura, pH e tempo de contato (Dos Santos; Cervantes; Van Lier, 2007 *apud* Chong; Tam, 2020). Os adsorventes também possuem a capacidade de ser regenerados, por vários ciclos, e o processo de adsorção não produz resíduos nocivos (Ahmad *et al.*, 2015; Yagub *et al.*, 2014 *apud* Bilal *et al.*, 2022).

Diversos adsorventes foram utilizados para remoção de corantes e outros poluentes das águas residuais e de efluentes industriais. Adsorventes como: quitosana (Mahmoodi *et al.*, 2020 *apud* Bilal *et al.*, 2022), ferrita (Mahmoodi, 2013; Mahmoodi, 2015 *apud* Bilal *et al.*, 2022), nanofibra (Hosseini *et al.*, 2018 *apud* Bilal *et al.*, 2022). Entretanto, diferentes adsorventes econômicos feitos de biomassa, subprodutos agrícolas, diferentes resíduos sólidos industriais são usados no tratamento de águas residuais, como *Ficus carica bast* (Rafatullah *et al.*, 2010 *apud* Bilal *et al.*, 2022), lama (Fan *et al.*, 2017 *apud* Bilal *et al.*, 2022), casca de kiwi (Mahmoodi *et al.*, 2018 *apud* Bilal *et al.*, 2022) pinheiro (Abdel-Fattah *et al.*, 2015 *apud* Bilal *et al.*, 2022), montmorilonita (Wang *et al.*, 2017 *apud* Bilal *et al.*, 2022), zeólita (Hailu *et al.*, 2017; Jiménez-Castañeda; Medina, 2017 *apud* Bilal *et al.*, 2022), fibra de linho (Wang *et al.*, 2018 *apud* Bilal *et al.*, 2022), casca de arroz (Mohamed, 2004 *apud* Bilal *et al.*, 2022) e argila (Xiang *et al.*, 2019 *apud* Bilal *et al.*, 2022). Estudos revelaram que a tecnologia da adsorção, que utiliza adsorventes naturais, alternativos, como um

passivo ambiental (resíduos agrícolas, florestais etc.), possibilitando a redução de custos e a utilização de materiais que, de outra forma, estariam nos lixões e aterros sanitários representando um problema ambiental (Vieita *et al.*, 2011; Brasil *et al.*, 2007 *apud* Holanda *et al.*, 2012). Sendo o Brasil, um país continental e rico em biomassas, apresenta um elevado potencial para a geração desta classe de adsorventes ambientalmente favoráveis (Holanda *et al.*, 2012).

Dentre os adsorventes o carvão ativado (CA) gerado a partir de resíduos agrícolas apresenta uma alta capacidade de adsorção, resistência mecânica e baixo teor de cinzas (Fazeli *et al.*, 2016). Expõe uma variedade de grupos funcionais que auxiliam nos processos de adsorção, sendo sua estrutura basicamente composta por grafite, com vértices e bordas acomodando elementos como o oxigênio, nitrogênio e hidrogênio compreendidos em grupos funcionais (Varques *et al.*, 2008 *apud* Silva Filho *et al.*, 2016). A sua estrutura porosa, altas áreas de superfície específicas e grande capacidade de sorção (Moosavi *et al.*, 2020). O CA mostra-se como um excelente adsorvente e pode ser utilizado para diversos fins, como purificação, separação, na redução de contaminantes perigosos, no tratamento de águas residuais e industriais, catalisador, ou suporte de catalisador na medicina e na recuperação de metais valiosos etc. (Moosavi *et al.*, 2020). A adsorção por carvão ativado é um procedimento utilizado para a retirada de poluentes do meio, ao apresentar uma habilidade para adsorver componentes orgânicos de baixa massa molecular, como os benzeno, tolueno e xileno (BTX) (Schneider, 2008 *apud* Silva Filho *et al.*, 2016).

A biorremediação em corantes têxteis emprega microrganismos que provocam a degradação parcial, mineralização ou transformação da estrutura química dos corantes (Ajaz; Shakeel; Rehan, 2019; Giovanella *et al.*, 2020 *apud* Ihsanullah *et al.*, 2020). Com base nesta questão, vários grupos científicos estão envolvidos na pesquisa de modificação da constituição genética bacteriana para melhorar sua capacidade de degradação, além de acelerar o processo de biorremediação. Horitsu e colaboradores (1977 *apud* Gül, 2018) foram os primeiros pesquisadores, na década de setenta, que observaram que a bactéria *Bacillus subtilis* conseguia degradar corantes azo. Eles perceberam que bactérias podiam atuar na biodegradação de azocorantes (-N=N-). Estudos provaram que diferentes associações microbianas podem degradar azocorantes de forma aeróbica e anaeróbica. Na verdade, supõe-se que os consórcios bacterianos sejam mais benéficos para a degradação completa do corante. Desta forma, na cultura mista, os intermediários tóxicos gerados devido à

atividade de uma bactéria são degradados por outras bactérias do consórcio (Forgacs *et al.*, 2004; Jain *et al.*, 2012 apud Singh *et al.*, 2020).

As células de combustível microbiano (MFC) apresentam-se como uma tecnologia em crescimento que transforma a energia química de compostos biodegradáveis em corrente elétrica com o auxílio de microrganismos. A tecnologia MFC está sendo estudada como um campo interdisciplinar no qual ocorre a integração da eletroquímica, microbiologia, ciência de materiais e áreas relacionadas na resolução de problemas ambientais e ligados a combustíveis (Patade *et al.*, 2016 apud Ihsanullah *et al.*, 2020). A tecnologia MFC está sendo estudada como uma técnica eficiente no tratamento de águas residuais e produção de bioeletricidade (Ihsanullah *et al.*, 2020).

A biorremediação mostra-se como uma técnica ecologicamente correta, barata e eficaz para o tratamento de efluentes têxteis. Algas, bactérias e fungos são os biomateriais eficazes para biorremediação de corantes em águas residuais têxteis. Apesar de haver muitos desafios, as futuras pesquisas neste campo poderão superar a maioria dos obstáculos atuais. Os procedimentos atuais de biorremediação baseiam-se basicamente em escala laboratorial. A adaptação destes sistemas para aplicações comerciais em larga escala é um desafio tecnológico.

3 METODOLOGIA

3.1 EQUIPAMENTOS E MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Materiais e reagentes químicos utilizados

- Bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, cepa ATCC® 27853;
- Cisto de *Artemia salina* (Yepit, Recife, Pernambuco, Brasil), utilizado em ensaios experimentais de toxicidade;
- Carvão ativado (*Cocos nucifera*), em pó, proveniente da Índia (Belle Chemical®, Billing, Montana, Estados Unidos);
- Carvão ativo P.A., em pó (Dinâmica Química Contemporânea Ltda., Indaiatuba, São Paulo, Brasil) Número CAS: 7440-44-0, usado como parâmetro nos ensaios experimentais;
- Gás utilizado para o experimento de carbonização e ativação do mesocarpo do coco verde (*Cocos nucifera*) foi o nitrogênio gasoso 99,999% (White Martins Gases Industriais do Nordeste, Salvador, Bahia);
- (HNO₃) Ácido nítrico P.A., pureza 65% (Sigma-Aldrich, Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) – Número CAS: 7697-37-2, usado na funcionalização;
- (H₂SO₄) Ácido sulfúrico P.A., pureza 95-97% (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) Número CAS: 7664-93-9, usado na funcionalização;

- (H_2O_2) Peróxido de hidrogênio P.A., pureza 30% (Vetec Indústria e Comércio Ltda, Mogi das Cruzes, São Paulo, Brasil) Número CAS: 7722-84-1, usado na funcionalização;
- ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) Azul de metileno P.A., pureza 30% (Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) Número CAS: 7720-79-3, empregado como parâmetro durante os ensaios experimentais de adsorção com os carvões ativados e carvões ativados funcionalizados;
- ($\text{C}_{22}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_{11}\text{S}_3$) Azul brilhante de remazol P.A., pureza 50% (Sigma-Aldrich, Merck KGaA, Darmstadt, Alemanha) Número CAS: 2580-78-1, empregado como parâmetro durante os ensaios experimentais de adsorção com os carvões ativados e carvões ativados funcionalizados;
- Kit para educação ambiental-Monitoramento da água Ecolit (Alfakit®, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil), empregado na análise das águas do rio Camarajipe;
- Sal marinho, Instant Ocean® (Blacksburg, Virgínia, Estados Unidos), foi utilizado no bioensaio com *Artemia salina*;
- Extrato de levedura, Kasvi (São José dos Pinhais, Paraná, Brasil), usado no bioensaio;
- Caldo de triptona de soja (*Trypticase soy broth*-TBS), Kasvi (São José dos Pinhais, Paraná, Brasil), usado no bioensaio;

3.1.2 Equipamentos utilizados

- O mesocarpo do coco verde (*Cocos nucifera*) foi moído com o auxílio de um moinho de facas tipo willey da empresa Logen (Logen Scientific, Diadema, São Paulo, Brasil);
- Utilizou-se um peneirador analítico da marca Retsch, modelo AS200, para fazer a distribuição granulométrica (Retsch, Hann, Mettmann, Alemanha);
- A análise termogravimétrica (TG) e da derivada da termogravimetria (DTG), foram obtidas em um equipamento Shimadzu, modelo TGA-50 (Shimadzu-Brasil, Barueri, São Paulo, Brasil);
- O forno de carbonização, Grupo GECCAT (inativo), foi utilizado na carbonização e ativação do mesocarpo do coco verde;
- A mufla Vulcan, modelo 3-550, de temperatura máxima de 1100°C, foi utilizada para obter os teores de umidade, cinzas e matéria volátil (Dentsply Sirona, Charlotte, Carolina do Norte, Estados Unidos da América);
- Incubadora agitadora, marca Eppendorf, modelo New Brunswick I26/26R (Hamburg, Alemanha), usada no processo de suporte da bactéria no carvão ativado e carvão ativado funcionalizado;
- A análise da estrutura cristalina e a quantificação das fases cristalinas foram realizadas por meio de Espectroscopia de Fluorescência de raios X Shimadzu, modelo XRF-700HS (Shimadzu-Brasil, Barueri, São Paulo, Brasil);
- Espectros de infravermelho com transformada de Fourier foram obtidos em um equipamento Shimadzu, modelo IR-Prestige21 (Shimadzu-Brasil, Barueri, São Paulo, Brasil);
- As propriedades texturais das amostras foram determinadas no equipamento Micromeritics, modelo ASAP 2010;

- As imagens de alta resolução das superfícies das amostras foram obtidas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura, Jeol modelo JSM-6610LV (JOEL, Peabody, MA, Estados Unidos da América);
- As análises de adsorção foram observadas no Espectrofotômetro de comprimento de onda 325-1000nm, marca Pro-tools, modelo V-1100D
- Phmetro de bancada, modelo mPA210 (Ms Tecnopon, Piracicaba, São Paulo, Brasil);
- Balança analítica Sartorius, modelo BL 210S, máxima=210g/d=0,1mg (Sartorius Stedim Biotech, Goettingen, Alemanha);
- Estufa Biomatic (Biomatic Aparelhos Científicos LTDA, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil);
- Agitador magnético da marca IKA, modelo RH basic1 (IKA-Werke GmbH & CO. KG, Deutschland, Alemanha);
- Centrifuga de bancada, modelo 5804R, marca Eppendorf (Hamburg, Alemanha) foi utilizada durante os bioensaios;
- Equipamento de eletroestimulação, modelo Neurodyn esthetic, Ibramed (Amparo, São Paulo, Brasil).

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.2.1 Origem da biomassa

O mesocarpo do coco verde (*Cocos nucifera*), utilizado neste projeto, foi coletado no município de Lauro de Freitas. O município de Lauro de Freitas está localizado na Região Metropolitana de Salvador, no litoral norte do estado da Bahia, no Brasil. O município faz divisa ao sul, com a praia de Ipitanga, a oeste com Salvador, ao norte com Camaçari, divisa feita pelo rio Joanes, que se encontra em uma situação de poluição elevada, e Simões Filhos, pelo Centro Industrial de Aratu; e a leste com o Oceano Atlântico (Prefeitura de Lauro de Freitas, 2019).

A vegetação da região compreende uma cobertura vegetal com características de orla marítima com coqueirais em solo arenoso e dunas recobertas por plantas rasteiras, arbustos e semi arbustos. A região possui um litoral de seis quilômetros de extensão banhados pelo Oceano Atlântico, divididos em três praias: Buraquinho, Praia de Ipitanga e Vilas do Atlântico, Figura13.

Figura 13 - Vista panorâmica de praia localizada na região de Vilas do Atlântico-região com coqueirais.

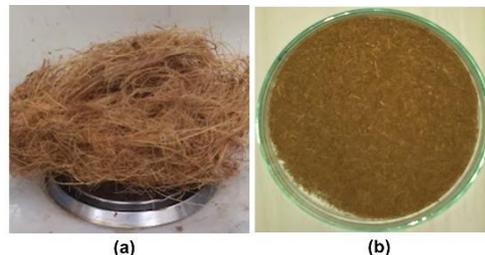


Fonte: <https://www.guiaviagensbrasil.com/galerias/ba/fotos-da-praia-vilas-do-atlantico/>, mar. 2019.

3.2.2 Preparação da biomassa do mesocarpo do *Cocos nucifera*

A biomassa, o mesocarpo do coco verde (*Cocos nucifera*), foi exposto à luminosidade solar para remover a umidade e evitar conseqüentemente o desenvolvimento de fungos. Em seguida, foi lavada com água deionizada para eliminar poeira e impurezas inorgânicas que possam causar modificações na matéria final. Logo em seguida, a biomassa foi seca em estufa a uma temperatura de 120°C, por 24 horas (Figura 14a). Ao fim deste período, o material foi mantido em um dessecador para resfriar. Posteriormente, a biomassa seca foi moída com o auxílio de um moinho de facas. A biomassa foi triturada e depois passada em um peneirador analítico para obter uma distribuição granulométrica com diâmetros médios de 0,15mm (100mesh). O aspecto da amostra final, biomassa do mesocarpo do coco (BMC), obtida após a peneiração está representada na Figura 14b.

Figura 14 - Biomassa formada por mesocarpo do *Cocos nucifera*, antes (a) e após ser triturado e peneirado (b).



Fonte: Sobral, 2019.

3.2.3 Determinação da temperatura de carbonização e ativação

As temperaturas de carbonização e ativação da biomassa, mesocarpo do cocoda-baía, foram determinadas através do estudo das transformações químicas da biomassa. A biomassa (BMC) foi avaliada mediante análise termogravimétrica (TG) e derivada da termogravimetria (DTG). As análises termogravimétricas foram obtidas em um sistema com as condições: faixa de temperatura de 25 a 900°C; razão de aquecimento de 10°C.min⁻¹ atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50mL.min⁻¹. A amostra foi analisada no equipamento sob a responsabilidade do extinto Grupo de

Estudos em Cinética e Catálise (GECCAT). O GECCAT fazia parte da Universidade Federal da Bahia, estava localizado no Instituto de Química.

3.2.3.1 Pirólise e ativação do mesocarpo do *Cocos nucifera*

A obtenção do carvão ativado envolveu duas etapas: a carbonização do material lignocelulósico e sua posterior ativação com vapor d'água, denominada ativação física (Fluxograma 1). Esta preparação foi baseada na metodologia utilizada pelo extinto grupo GECCAT.

Na primeira etapa, a carbonização, uma determinada quantidade do precursor, biomassa do mesocarpo do coco-da-baía (amostra BMC) foi colocada em uma cela de quartzo (Figura 15a), e está foi acondicionada em um forno cilíndrico (Figura 15b), forno de carbonização (Figura 16), sob um fluxo de nitrogênio de $100\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ à temperatura de 600°C , com taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, por 1 hora. Após a carbonização, o carvão formado (amostra CMC600) foi submetido a uma ativação física, sob um fluxo de nitrogênio de $100\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ saturado com vapor d'água. Posteriormente, a amostra CMC600 passou por uma taxa de aquecimento de $10^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ até atingir 600°C , mantendo-se esta temperatura por 1 hora. A segunda etapa gerou o procedimento de ativação física, que produziu a amostra CAMC600.

Figura 15 - Cela de quartzo (a) utilizado na carbonização e a cela de quartzo no interior do forno de carbonização (b).



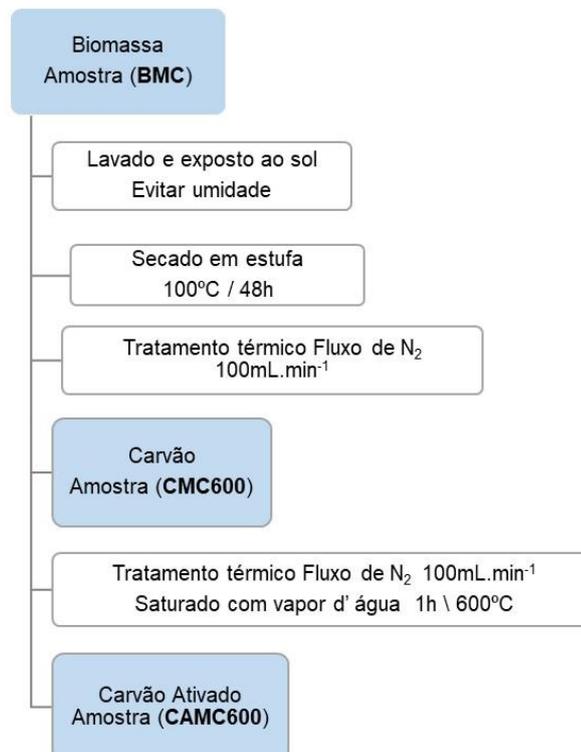
Fonte: Sobral, 2017.

Figura 16 - Forno de carbonização, equipamento responsável pela conversão da biomassa em carvão.



Fonte: Sobral, 2017.

Fluxograma 1 - Método de conversão da biomassa em carvão ativado:



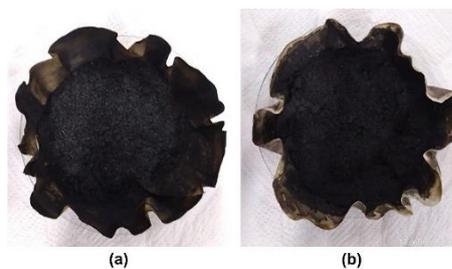
Na Figura 17 está destacado o forno de carbonização com o *trap*, local responsável pelo processo da ativação física. Na Figura 18 podemos observar o mesocarpo do coco verde, após carbonização (18a), amostra CMC600, e sua conversão por ativação física (18b), amostra CAMC600.

Figura 17 - Forno de carbonização com *trap*, instrumento encarregado na ativação física do carvão.



Fonte: Sobral, 2019.

Figura 18 - Mesocarpo de coco-da-baía após carbonização (a) e após sua ativação (b).



Fonte: Sobral, 2019.

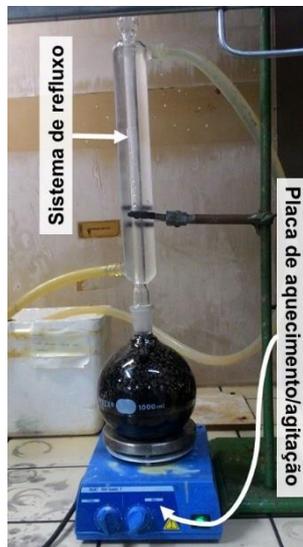
3.2.4 Funcionalização dos carvões ativados

Na funcionalização dos carvões ativados, foi utilizada a metodologia descrita no artigo *Influence of surface functionalization via chemical oxidation on the properties of carbon nanotubes* escrita pelos pesquisadores J. Chen, Q. Chen e Ma (2012) com algumas adaptações. Na funcionalização foram utilizadas duas categorias de carvões ativados, ambos produzidos com o mesmo material de partida, a biomassa do mesocarpo do coco-da-baía (*Cocos nucifera*). As categorias de carvões ativados foram diferenciadas pela temperatura de ativação. O carvão ativado produzido em laboratório, obtido pela metodologia do extinto grupo GECCAT foi ativado a 600°C (CAMC600) e o carvão ativado adquirido comercialmente, da marca Belle Chemical®, foi ativado a 760°C (CAMC760).

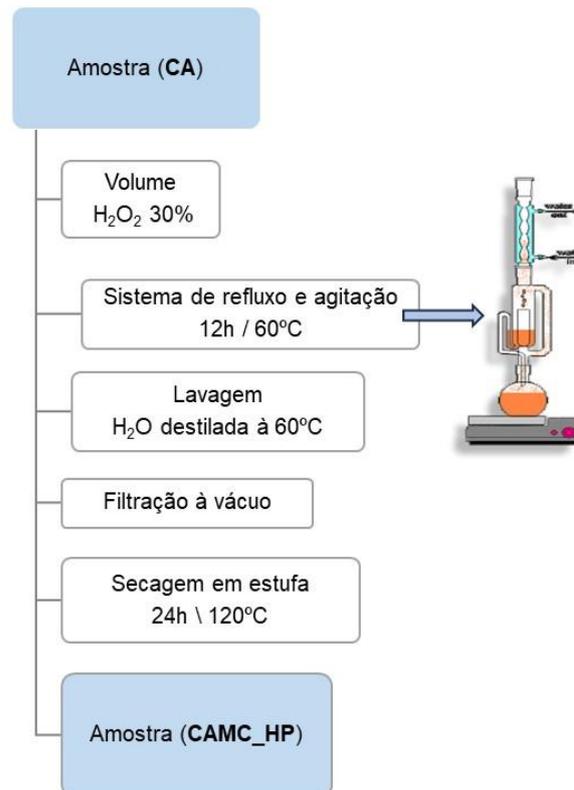
3.2.4.1 Funcionalização do carvão ativado com peróxido de hidrogênio

No fluxograma 2, estão representadas as etapas para a funcionalização do carvão ativado (CA) com o emprego do reagente peróxido de hidrogênio (H_2O_2). A funcionalização foi produzida com a adição do CA em um balão de fundo chato sobre uma placa de aquecimento, sendo que o balão de fundo chato foi acoplado a um condensador, formando um sistema de refluxo (Figura 19). No balão de fundo chato, foi vertido sobre o CAMC600 um volume de peróxido de hidrogênio a 30%. O sistema de refluxo, com CA, ficou sobre agitação e em aquecimento por 12 horas a uma temperatura de $60^\circ C$. Ao término das 12 horas a amostra foi filtrada a vácuo e lavada com água deionizada a $60^\circ C$ até a amostra alcançar um pH neutro (aproximadamente 7,0). Com a obtenção da neutralidade da amostra, ela foi levada à estufa a $120^\circ C$ por 24h. Após esta etapa, as amostras passaram a ser denominadas CAMC_PH (carvão ativado de mesocarpo do coco funcionalizado com peróxido de hidrogênio).

Figura 19 - Foto com o sistema utilizado para realizar a funcionalização do CAMC600 com o H_2O_2 .



Fonte: Sobral, 2017.

Fluxograma 2 - Funcionalização do carvão ativado com H_2O_2 :

3.2.4.2 Funcionalização do carvão ativado com ácido nítrico e ácido sulfúrico

No fluxograma 3, estão escritas as etapas da funcionalização do carvão ativado com os reagentes ácido nítrico (HNO_3) e ácido sulfúrico (H_2SO_4). A funcionalização foi produzida com a adição do CA em um sistema formado por um béquer sobre uma placa de aquecimento e agitação. No béquer foi vertido sobre o CA um volume com razão molar de 3:2 de ácido nítrico e ácido sulfúrico. O sistema foi mantido em agitação e em aquecimento a uma temperatura de 95°C por 100 minutos. Com o término dos 100min. a amostra foi filtrada a vácuo e lavada com água deionizada a 60°C até a amostra alcançar um pH neutro (aproximadamente 7). Com a obtenção da neutralidade da amostra, ela foi levada à estufa a 120°C por 24 horas. Após esta etapa, as amostras obtidas passaram a ser denominadas CAMC_HN/HS (carvão ativado do mesocarpo do coco funcionalizado com ácido nítrico e ácido sulfúrico).

Fluxograma 3 - Funcionalização do carvão ativado com $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$:

3.2.5 Nomenclatura das amostras

As amostras obtidas neste projeto de tese foram nomeadas como apresentado na Tabela 3, em que o emprego da letra C representa carvão, CA significa carvão ativado e o MC significa mesocarpo do coco. As numerações 600 e 760 indicam a temperatura na qual ocorreu a ativação física das amostras. Já as designações HP e HN/HS representam, respectivamente, funcionalização com peróxido de oxigênio e funcionalização com a combinação do ácido nítrico e ácido sulfúrico.

Tabela 3 - Relação das amostras obtidas e as respectivas nomenclaturas usadas na identificação:

Nomenclatura	Descrição da amostra
CMC600	Carvão do Mesocarpo do Coco - carbonização à 600°C
CAMC600	Carvão Ativado do Mesocarpo do Coco - ativação à 600°C
CAMC600_PH	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação a 600°C e funcionalizado com H ₂ O ₂
CAMC600_HN/HS	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação à 600°C e funcionalizado com HNO ₃ /H ₂ SO ₄
CAMC760	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação à 760°C
CAMC760_HP	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação à 760°C e funcionalizado com H ₂ O ₂
CMC760_HN/HS	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação à 760°C e funcionalizado com HNO ₃ /H ₂ SO ₄

3.2.6 Caracterização das amostras

Um conjunto de diferentes técnicas foram aplicadas para determinar as propriedades físicas e/ou químicas das amostras obtidas durante o trabalho de pesquisa.

3.2.6.1 Determinação do Teor de Umidade

A determinação de umidade das amostras, seguiu o procedimento descrito na norma ASTM E1756-08 (2015) (*Standard Test Method for determination of Total Solids in Biomass*) com algumas alterações.

Em um cadinho de porcelana que foi precedentemente calcinado, em mufla por 30 minutos a 900°C, sendo posteriormente resfriado em dessecador. Foi adicionado 1,0g da amostra. A amostra foi acondicionada no cadinho de porcelana e levada a uma estufa a 105°C e mantida nesta temperatura durante 1 hora. Após resfriamento, em dessecador, o cadinho, contendo a amostra, foi pesado. O procedimento foi repetido até se obter um valor de massa constante. O teor umidade foi calculado pela Equação 1, descrita abaixo:

$$TU = (M_{CAI} - M_{CAF}) / (M_{CAI} - M_C) \times 100 \quad (1)$$

Onde teremos que TU é o teor de umidade, determinado em percentagem (%). Já M_{CAI} , M_{CAF} e M_C são respectivamente a massa do cadinho, massa do cadinho com a amostra inicial, massa do cadinho com a amostra final (105°C) e massa do cadinho. Sendo todas as massas obtidas em grama (g).

3.2.6.2 Determinação do Teor de Matéria Volátil

Para a determinação do teor de materiais voláteis utilizou a técnica ASTM D5832 – 98(2014) (*Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon Samples*) com algumas alterações. Efetuou-se a eliminação da umidade presente na amostra, seguindo o procedimento descrito no item 3.2.4.1 Determinação do Teor de Umidade (TU). Após a eliminação da umidade, em um cadinho previamente calcinado a 900°C por 30 minutos e resfriado em dessecador, foi adicionado 1,0g da amostra. Posteriormente, o cadinho foi acondicionado na mufla a 750°C por 15 minutos. Após esse tempo, o cadinho foi retirado da mufla, resfriado em dessecador e pesado. O teor de materiais voláteis presentes na amostra foi calculado utilizando a Equação 2.

$$TMV = (M_{CAF} - M_{CAV}) / (M_{CAI} - M_C) \times 100 \quad (2)$$

Onde teremos TMV sendo o teor de materiais voláteis, valores obtidos em percentagem (%). A massa do cadinho final (105°C), massa do cadinho após queima do material volátil, massa do cadinho inicial e massa do cadinho foram representadas pelas siglas M_{CAF} , M_{CAV} , M_{CAI} e M_C , nesta ordem. Todos os valores obtidos utilizam as unidades do Sistema Internacional de medidas como padrão.

3.2.6.3 Determinação do Teor de Cinzas

Na determinação do teor de cinzas utilizou-se o método ASTM E1755-01 (2015) (*Standard Test Method for Ash in Biomass*), com algumas variações. A amostra foi

previamente seca a uma temperatura de 105°C, por 1 hora. Em seguida, foi transferida para uma mufla a 750°C e mantidas nesta temperatura por 6 horas. Após resfriamento em dessecador, a massa do cadinho de porcelana foi determinada. Este processo foi efetuado repetidas vezes até que a massa final permanecesse constante. O teor de cinzas foi determinado usando a Equação 3.

$$TCZ = (M_R - M_C) / (M_{CAI} - M_C) \times 100 \quad (3)$$

Teremos que TCZ determina o teor de cinzas da amostra, obtidos em percentagem (%). Já M_R , M_C e M_{CAI} , são por esta ordem, massa residual da calcinação, massa do cadinho, massa inicial da amostra, todas as massas obtidas em grama (g).

3.2.6.4 Determinação do Carbono Fixo

O teor de carbono fixo das amostras foi calculado com a diferença entre 100 e a soma das percentagens do TU, TCZ e TMV, Equação 4.

$$CF = 100 - (TU + TCZ + TMV) \quad (4)$$

3.2.6.5 Determinação do pH

Para precisar o pH, foi realizado o teste conforme a norma ASTM D3838-80(1999) (*Standard Test Method for pH of activated carbono*) com algumas modificações.

Adicionou-se 0,5g da amostra em um *erlenmeyer* contendo 50mL de água deionizada. A mistura foi agitada e aquecida até a ebulição por cerca de 15 minutos. Com a mistura em temperatura ambiente, adicionou-se 50mL de água deionizada e aferiu o pH da suspensão com um pHmetro.

3.2.6.6 Determinação do Ponto da Carga Zero

A metodologia do Ponto de Carga Zero (PCZ), técnica conhecida como a técnica dos “onze pontos”. O procedimento descreve a adição de um adsorvente em soluções sob onze aferições de pH inicial (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12) e medir o pH após 24 horas do sistema, que deve estar em agitação constante. Com base nos dados, pode-se obter a curva do pH final em função do pH inicial. O PCZ é o valor no qual o pH final se mantém constante independentemente do pH inicial, ou seja, a superfície comporta-se como um sistema tampão (Regalbuto; Robles, 2004). A solução utilizada para variação do pH foi o cloreto de sódio $0,1\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ e o pH de cada solução foi ajustado com ácido clorídrico ou hidróxido de sódio. Após obter as soluções de pH adequadas, foram adicionados 20mL de cada solução em tubos de ensaio e, em seguida, foram introduzidos 20mg de carvão ativado em cada tubo. Os tubos foram mantidos sob agitação em um banho-maria com uma temperatura de 25°C durante 24 horas. Após este período, as soluções foram filtradas e os valores do pH final determinado.

3.2.6.7 Espectroscopia de fluorescência de raios X

A composição química da biomassa do mesocarpo de coco (*Cocos nucifera*), o carvão, os carvões ativados e os carvões ativados funcionalizados foram determinadas através do aparelho de Espectroscopia de Fluorescência de raios X (FRX). A amostra foi pulverizada e prensada para formar uma pastilha (3 toneladas por 5 minutos.) utilizando o ácido bórico (H_3BO_3) como dispersante.

A espectroscopia de FRX é uma técnica analítica multielementar não destrutiva capaz de identificar elementos. A técnica é utilizada para determinar a composição elementar de uma amostra. Os valores desta composição elementar são gerados a partir da intensidade dos raios X enviado pelos elementos da amostra, por meio de partículas de elétrons, prótons ou íons excitados.

A amostra foi analisada no equipamento sob a responsabilidade do Grupo de Pesquisa em Catálise e Polímeros (CGP). O CGP faz parte da Universidade Federal da Bahia, estando localizado no Instituto de Química.

3.2.6.8 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier

A avaliação dos grupos funcionais das amostras foram obtidas por meio da técnica de espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). As análises foram realizadas incidindo a radiação na pastilha de brometo de potássio (KBr) contendo cerca de 20-50mg de amostra sólida dispersa e prensada a 80bar, em temperatura ambiente para formar uma pastilha. Foi utilizada uma varredura na faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} e resolução de 16 cm^{-1} .

As amostras foram analisadas na central analítica, formada por equipamentos financiados por projetos CAPES (UFBA) e FAPESB. A central analítica está situada na Universidade Federal da Bahia de responsabilidade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ).

3.2.6.9 Espectroscopia por Difração de raios X

Na espectroscopia por difração de raios X (DRX), as informações obtidas por meio do difratograma são a identificação das fases cristalinas presentes nas amostras, determinação do tamanho do cristal, medir a distância entre os planos de átomos de uma rede cristalina e/ou determinar as suas posições. As análises foram efetivadas nos equipamentos Shimadzu, modelo XDR-6000 e Bruker, modelo D8 advance. Usou-se radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1,5406\text{\AA}$), gerada a 40kV e 30mA, com filtro de níquel. A varredura foi conduzida em uma faixa de ângulos de $5 < 2\theta$.

As amostras foram analisadas na central analítica, formada por equipamentos financiados por projetos CAPES (UFBA) e FAPESB. no Laboratório de Catálise e Materiais (LABCAT) no Instituto de Química e na central analítica que está sob a responsabilidade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ).

3.2.6.10 Medida de área superficial específica e porosidade

Para a determinação das propriedades texturais das amostras, utilizou-se o equipamento *Micromeritics*, modelo ASAP 2010, por meio da adsorção/dessorção de nitrogênio. Em uma cela de vidro acoplada a um sistema de pré-tratamento, foi

disposta uma massa de aproximadamente 0,15g da amostra. Neste sistema, a amostra foi aquecida em uma taxa de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ a 200°C por 4 horas, sob vácuo e exposta a um aumento máximo de pressão de $50\mu\text{mHg}$, o que gerou a remoção da água adsorvida no sólido. Seguidamente, a amostra foi resfriada e a cela de vidro foi mais uma vez pesada e acoplada ao sistema de análise do equipamento. Ao longo da análise, a amostra foi sujeita a pulsos de nitrogênio em um aumento máximo de pressão de 925mmHg . As áreas superficiais específicas (Sg) foram calculadas a partir do modelo de Brunauer-Emmett-Teller (BET) e a distribuição de tamanho de poros e volume de poros foi calculada baseada na isoterma pelo método Barret-Joyner-Halenda (BJH).

As amostras foram analisadas na central analítica, formada por equipamentos financiados por projetos CAPES (UFBA) e FAPESB. A central analítica está situada na Universidade Federal da Bahia sob a responsabilidade do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPEQ).

3.2.6.11 Microscopia Varredura de Eletrônica

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada para obter a análise morfológica das amostras. O equipamento da marca JEOL, modelo JSM-6610LV é um equipamento de alto desempenho, podendo ser utilizado em diversos materiais. Ele realiza imagens em alta resolução com uma profundidade focal de até 300 000 vezes (25x a 300 000x). As amostras (BCM, CMC600 e CAMC600) foram acondicionadas no porta amostra com fitas de carbono e expostas à metalização com ouro, sob vácuo, para promover a condutividade das amostras e analisadas.

As amostras foram analisadas no Laboratório Multiusuário de Microscopia Eletrônica (LAMUME) na Universidade Federal da Bahia, o laboratório está sob responsabilidade do Instituto de Física.

3.2.7 Coleta da água do rio Camarajipe

O grupo LABEM (Laboratório de Biotecnologia e Ecologia de Microrganismos) foi responsável pelas coletas da água no rio Camarajipe. A água utilizada no ensaio de filtração foi proveniente de três pontos, denominados: a, b e c, que foram pré-determinados em trechos do rio Camarajipe (Tabela 4). Para o ensaio de filtração, realizou-se a coleta de dois litros de água em cada ponto. A coleta ocorreu no mês de maio de 2023. A água coletada foi acondicionada em freezer à temperatura de 4°C, para preservar suas características físicas, químicas e biológicas, até sua aplicação nos ensaios.

Tabela 4 - Localização dos três pontos de coleta no rio Camarajipe:

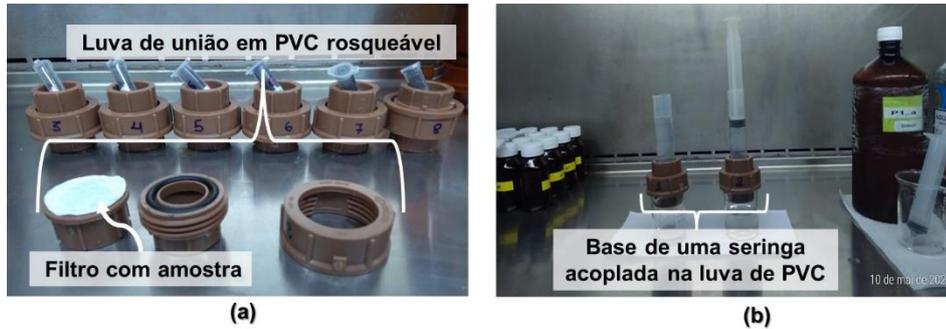
Pontos de coleta	Coordenadas	Localização
a	-12.97691, -38.47526	Av. ACM, em frente ao 3º Grupamento de Bombeiros Militares, Campinas de Brotas
b	-12.95486, -38.47436	Rua Martiano Bonfim, Barros Reis/Retiro
c	-12.93018, -38.47066	Estrada de Campinas, após entroncamento com a Rua do Bambuí, Bairro Baixa do Camarajipe. Próximo à entrada na BR-324, Bairro Boa Vista de São Caetano

3.2.7.1 Ensaio de filtração com a água coletada

Para os ensaios de bancada, foi projetado um sistema para a realização da filtração da água coletada no rio Camarajipe. Neste sistema uma determinada massa da amostra (carvão, carvões ativados e carvões ativados funcionalizados) foi acondicionada em um papel filtro específico (gerou um filtro redondo) e introduzida em uma luva de união de policloreto de vinila (pvc) rosqueável (Figura 20a) tendo uma seringa (com o bico cortado) acoplada (Figura 20b). No ensaio de filtração foram confeccionados oito filtros (Tabela 5), sendo: um carvão, um carvão ativado e dois carvões ativados funcionalizados (produzidos em laboratório a partir do *Cocos nucifera*); um carvão ativado e dois carvões ativados funcionalizados produzidos pela empresa Belle Chemical® (biomassa utilizada foi o *Cocos nucifera*) e o empregado

um carvão ativado comercial (carvão ativado em pó, marca Dinâmica®), produzido a partir do eucalipto, que foi utilizado como parâmetro nos ensaios de bancada.

Figura 20 - Sistema utilizado para desenvolver a filtração da água coletada no rio Camarajipe.



Fonte: Sobral, 2023.

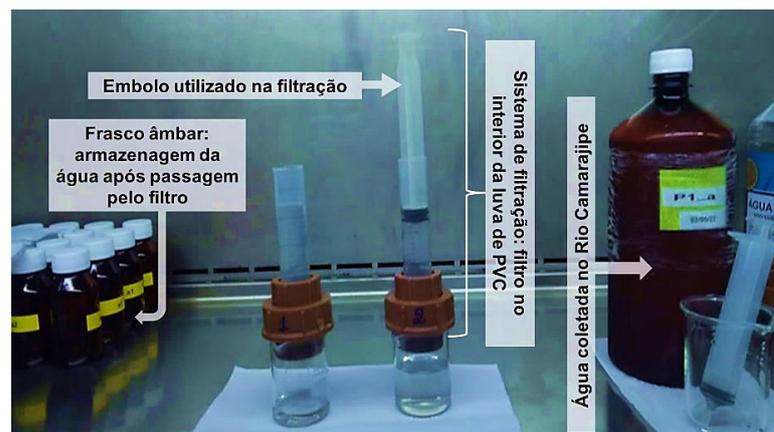
Tabela 5 - Relação dos filtros produzidos e empregados nos ensaios de filtração:

Numeração dos filtros	Amostras	Descrição da amostra
1	CACm	Carvão ativado comercial da Dinâmica®
2	CMC600	Carvão do Mesocarpo do Coco - carbonização a 600°C
3	CAMC600	Carvão Ativado do Mesocarpo do Coco - ativação a 600°C
4	CAMC600_PH	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação à 600° e funcionalizado com H ₂ O ₂
5	CAMC600_HN/HS	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação a 600°C e funcionalizado com HNO ₃ /H ₂ SO ₄
6	CAMC760	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação a 760°C
7	CAMC760_HP	Carvão do Mesocarpo do Coco - ativação 760°C e funcionalizado com H ₂ O ₂
8	CMC760_HN/HS	Carvão do Mesocarpo do Coco – ativação a 760°C e funcionalizado com HNO ₃ /H ₂ SO ₄

3.2.7.2 Análise da água após filtração

Utilizando o sistema de filtração montado, conforme representado na Figura 21, os filtros foram expostos à água coletada do rio Camarajipe em um fluxo contínuo, produzido pelo embolo da seringa. Após a filtração, a água coletada foi armazenada em frascos âmbar e guardada no freezer para posterior análise físico-químicos com o *kit* de Monitoramento da água Ecolit (Alfakit®), análise de microrganismos presentes com uso do *Colipaper*, também da marca Alfakit® e para a aplicação de um bioensaio de toxicidade com *Artemia salina* (bioindicador). As análises dos testes Alfakit® foram realizadas de acordo com as orientações fornecidas pelo fabricante.

Figura 21 - Sistema utilizado para desenvolver a filtração da água coletada no rio Camarajipe.



Fonte: Sobral, 2023.

3.2.7.3 Bioensaio com *Artemia salina*

O bioensaio de toxicidade, imobilidade/mortalidade com *Artemia salina* foi conduzido pelo método proposto por Meyer e colaboradores (1982), com modificações em sua realização. Os cistos de *A. salina* foram incubados em solução de 30g.L⁻¹ de sal marinho sintético (*Instant Ocean*®), 0,005mg de extrato de levedura com uma luminosidade constante e em uma temperatura de aproximadamente 25°C, para induzir sua eclosão. Após 48 horas ocorreu a eclosão dos cistos e dez náuplios (larvas) do microcrustáceo foram transferidos para poços de placas de Elisa, contendo: 2mL da solução salina (controle negativo salino), 2mL da água deionizada

(controle negativo “doce”), 2mL da água do rio Camarajipe sem passar pela filtração; 2mL da água do rio Camarajipe após filtração e 1,5mL da água do rio Camarajipe após filtração com 0,5mL solução salina. O bioensaio foi realizado em triplicata (Figura 22). A contagem dos microcrustáceos mortos e vivos foi realizada após 24 horas. A morte foi evidenciada pela sedimentação no fundo da placa de Elisa. Por se tratar de um microcrustáceo ativo em água salina, a falta de movimento e sedimentação são a indicação de sua morte.

Figura 22 - Bioensaio de *Artemia salina* em placas de Elisa sob iluminação constante.



Fonte: Sobral, 2023.

3.2.7.4 Bioensaio com *Artemia salina* em solução de azul de metileno

Neste bioensaio foi utilizado o mesmo procedimento descrito na secção 3.2.7.3, com a mudança apenas do meio investigado (solução de azul de metileno). Utilizando uma placa de Elisa, foram inseridas dez *Artemia salina* em cada poço com concentrações variadas de uma solução de azul de metileno, conforme descrito na Tabela 6. A taxa de mortalidade do microcrustáceo foi observada após 24 horas. O bioensaio foi efetuada em triplicata.

Tabela 6 - Códigos das concentrações de azul de metileno no bioensaio com *A. salina*:

Código da amostra	Concentração do azul de metileno (g.L ⁻¹)
1	3,0
2	4,0
3	5,0
4	6,0
5	7,0
6	8,0
7	9,0
8	10,0

3.2.8 Imobilização com bactéria em carvão ativado

Visando aumentar o crescimento da biomassa bacteriana, foram efetuados ensaios experimentais para determinar quais as condições ideais para a adesão do microrganismo nas amostras de carvões ativados e carvões ativados e funcionalizados. O ensaio realizado em triplicata para as diferentes concentrações da suspensão da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* em diluições de 1/10, 1/100 e 1/1000 (Tabela 7).

A imobilização das células de *P. aeruginosa* na concentração 1/10 foi realizada com 1,0g do suporte (CACm), 45mL do meio com triptona de soja (TSB) e 5mL da suspensão das células da bactéria. A concentração 1/100 foi formada por 49,5mL de meio TSB, 1,0g de CACm e 0,5mL de suspensão da bactéria. O volume de 49,95mL de meio TBS, 1,0g de CACm e 0,05mL de suspensão da bactéria formava a concentração de 1/1000. O controle (negativo) era formado com 50mL de meio TSB e 1,0g CACm.

Tabela 7 - Relação das amostras utilizadas na imobilização da bactéria no carvão ativado e as nomenclaturas usadas na identificação

Amostra	Descrição
CACm + TSB (controle)	Carvão ativado comercial com meio com triptona de soja (TSB)
CACmPa10	Carvão ativado comercial em imobilização com <i>P. aeruginosa</i> em concentração de 1/10
CACmPa100	Carvão ativado comercial em imobilização com <i>P. aeruginosa</i> em concentração de 1/100
CACmPa1000	Carvão ativado comercial em imobilização com <i>P. aeruginosa</i> em concentração de 1/1000

*Pa = *P. aeruginosa*

Os conjuntos de concentrações de bactéria e carvão ativado foram incorporados com o auxílio de agitador rotativo em 150 rotações por minuto (RPM) por 120 horas em uma temperatura de 37°C. Após este período, as células imobilizadas nas superfícies dos materiais de suporte foram coletadas e lavadas com meio de cultura esterilizado. O peso seco da biomassa das células imobilizadas foi medido comparando os pesos secos dos materiais de suporte antes e após a imobilização. Todos os processos executados foram realizados sob condições estéreis à temperatura ambiente. Os sobrenadantes dos ensaios processados foram armazenados em ambiente refrigerado para posteriores testes de viscosidade e tensão superficial. O ensaio descrito anteriormente foi repetido, mas sem a adição do CACm. Na Tabela 8, está a representação dos códigos usados no experimento realizado sem a presença do CACm.

Tabela 8 - Relação das amostras utilizadas na imobilização da bactéria e as respectivas nomenclaturas usadas na identificação:

Amostra	Descrição
Pa10	<i>P. aeruginosa</i> em concentração de 1/10
Pa100	<i>P. aeruginosa</i> em concentração de 1/100
Pa1000	<i>P. aeruginosa</i> em concentração de 1/1000

3.2.8.1 Bioensaios com *Pseudomonas aeruginosa* na adsorção

Neste experimento foi observado o desempenho da imobilização da bactéria nos carvões ativados e carvões ativados funcionalizados na adsorção do corante azul de metileno. O bioensaio foi realizado com a *Pseudomonas aeruginosa* (cepa ATCC® 27853) que foi suportada (imobilizada) nas amostras de carvões ativados (CACm e CAMC600) e carvões ativados funcionalizados (CAMC600_HP e CAMC600_HN/HS). Importante destacar que todos os ensaios primários foram executados com o CACm (carvão ativado comercial) para que fosse desenvolvido um protocolo para utilização das outras amostras.

3.2.8.2 Capacidade de adsorção do carvão ativado e funcionalizado imobilizado com *Pseudomonas aeruginosa*

Para realizar este experimento, foram efetuados dois testes, sendo o Teste 1 (T1) com o CACm, que gerou um protocolo do procedimento experimental utilizado no Teste 2 (T2). O T2 foi realizado com o CACm, CAMC600, CAMC600_PH e CAMCA600_HN/HS.

No T1 foi utilizado um grupo de amostra contendo: o CACm, a suspensão com o microrganismo (Pa), o meio de cultura e a concentração de azul de metileno (AM). Os grupos de amostras trabalhados e suas proporções estão na Tabela 9. As amostras foram acondicionadas na incubadora/agitadora a 150RPM por 24 horas. Subsequentemente as amostras foram centrifugadas e o sobrenadante foi analisado no espectrofotômetro. O experimento foi realizado em triplicata.

Tabela 9 - Descrição dos grupos experimentais e suas proporções empregadas na descoloração do azul de metileno:

Amostras	Bactéria (mL)	Azul de metileno (mL)	Massa CA (g)	Meio de cultura (mL)
PaAM	1,0	4,0	---	9,0
CACmAM	---	4,0	1,0	10,0
CACmAMPa	1,0	4,0	1,0	9,0

No T2, emprega-se a mesma massa de carvão ativado e ocorrem alterações nas proporções da suspensão da bactéria (Pa), na solução do azul de metileno (AM) e no meio de cultura (Tabela 10). As proporções de volume e massa aplicados na Tabela 9 foram os mesmos utilizados para as outras amostras de carvão ativado (CAMC600) e carvões ativados funcionalizados (CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS). Os tempos de adsorção adotados foram: 24 horas, 120 horas e 240 horas.

Tabela 10 - Grupos experimentais utilizados na descoloração do azul de metileno:

Amostras	Bactéria (mL)	Azul de metileno (mL)	Massa CA* (g)	Meio de cultura (mL)
PaAM	5,0	20	---	45
CA_AM	---	20	1,0	50
CA_AMPa	5,0	20	1,0	45

*CA = carvão ativado

3.2.9 Bioestimulação em bactérias

Neste bioensaio foi analisado o comportamento da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* imobilizada em carvão ativado e exposta a uma corrente elétrica frente a descoloração de uma solução corante. Neste experimento foi utilizado o carvão ativado comercial (CACm) e as soluções corantes de azul de metileno (AM) e azul brilhante de remazol R (ABR).

Foram desenvolvidos dois testes, denominados, T1 e T2. No T1 foi utilizado o corante azul de metileno em três grupos de amostras. A primeira com a suspensão da *P. aeruginosa* com a solução de azul de metileno (PaAM); a segunda com carvão ativado e a solução com azul de metileno (CACmAM) e a terceira formada com carvão ativado, a suspensão da bactéria *P. aeruginosa* e a solução de azul de metileno (CACmPaAM).

No T2 foi utilizado o mesmo procedimento das amostras com a alteração da solução corante para a solução de azul brilhante de remazol R (ABR). As amostras empregadas nos bioensaios (T1 e T2) estão descritas na Tabela 11.

As amostras descritas no T2 como carvão ativado (CA) e carvões ativados funcionalizados (CAF) são grupos experimentais com o carvão ativado (CAMC600) e carvões ativados funcionalizados (CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS) em laboratório. Sendo que as amostras estão associadas a bactéria *P. aeruginosa* (Pa) e ao corante azul brilhante de remazol R (ABR).

Tabela 11 - Relação dos grupos experimentais aplicados na descoloração do azul de metileno com o uso de uma corrente elétrica:

Amostras	Bactéria (mL)	Solução corante (mL)	Massa CA* (g)	Meio de cultura (mL)	
CACmAM	---	4,0	1,0	10	T1
PaAM	1,0	4,0	---	9,0	
CACmPaAM	1,0	4,0	1,0	9,0	
CACmABR	---	4,0	1,0	10	T2
PaABR	1,0	4,0	---	9,0	
CACmPaABR	1,0	4,0	1,0	9,0	

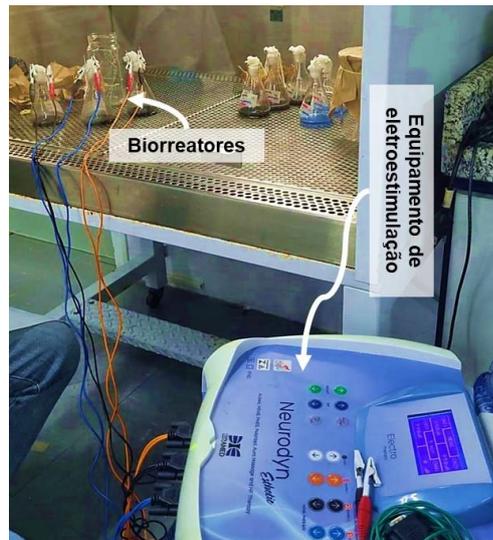
*CA = carvão ativado

As amostras dos testes (T1 e T2) foram transferidas para biorreatores (Figura 23), local onde ocorreu a aplicação de eletromodulação. As amostras T1 e T2 foram submetidas à frequência elétrica de 1Hz e diferentes intensidades de corrente elétrica (amperagem) e em tempos distintos. Os parâmetros de amperagem e tempo ao qual as amostras de T1 e T2 foram expostas estão presentes na Tabela 12.

Tabela 12 - Descrição da corrente elétrica e o tempo aplicado nos testes de descoloração com azul de metileno e azul brilhante de remazol R:

Amperagem (μ A)	Tempo		
750	30min	T1	T2
990	30min		
990	10min		
990	48h		
990	72h		

Figura 23 - Foto do bioensaio da descoloração com o uso da eletroestimulação com biorreatores.



Fonte: Maria Clara S. de Moraes, 2023.

Após a eletromodulação, as amostras de T1 foram transferidas para a incubadora/agitadora por 24 horas em 150RPM a uma temperatura de 30°C e com privação de luz. Ao término deste período, as amostras foram centrifugadas e o sobrenadante retirado para posterior análise no espectrofotômetro. Já as amostras de T2 foram submetidas a tempos maiores de eletromodulações. As amostras eletro moduladas em 48 horas foram deixadas na incubadora/agitadora por 120 horas e as amostras de 72 horas foram agitadas e incubadas por 24 horas. Todas as amostras de T2 ficaram na incubadora/agitadora em temperatura de 30°C e com 150RPM. Assim como ocorreu nas amostras T1, as amostras T2 foram centrifugadas e o sobrenadante foi analisado por espectrofotometria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA BIOMASSA *IN NATURA*

4.1.1 Espectroscopia de fluorescência de raios X

Na Tabela 13 podemos compreender a composição química do mesocarpo de coco verde (*Cocos nucifera*) alcançada por meio da técnica de espectroscopia de fluorescência de raios X (XRF - do inglês *X-ray fluorescence*).

Tabela 13 - Composição química da biomassa mesocarpo do coco verde *in natura*:

Elementos	Composição (%)
Carbono (C)	63,04
Oxigênio (O)	30,78
Potássio (K)	3,21
Cloro (Cl)	1,04
Silício (Si)	0,51
Sódio (Na)	0,45
Cálcio (Ca)	0,33
Magnésio (Mg)	0,23
Fosforo (P)	0,15
Enxofre (S)	0,14

Fonte: Lima (2014, p. 49).

Com base nos resultados encontrados, verifica-se que a biomassa apresenta um elevado teor de carbono, demonstrando características químicas adequadas para preparação de um carvão ativado a partir deste material. Isto porque, biomassas com altos teores de carbono, 63,04% de carbono (Tabela 13), tornam-se habilitadas para a produção de carvão ativado, uma vez que a quantidade elevada de carbono propicia ao carvão uma estrutura carbonácea altamente porosa. O teor de oxigênio na

biomassa apresentou um teor menor que 50%, o que irá contribuir para o rendimento do carvão, ou seja, um menor teor de oxigênio possibilita uma menor combustão da biomassa durante o processo de carbonização (Nobre, *et al.*, 2015). Gama Vieira e colaboradores (2014) narram que geralmente as biomassas possuem 80% de teores de carbono e oxigênio, o mesmo acontece na amostra estudada. Um estudo de Ibrahim e Hebriyah (2014 *apud* Farrapeira, 2019) assinala que a casca de coco verde (coco-da-baía) apresenta teores maiores de carbono, oxigênio e hidrogênio, fato comprovado com vários estudos. Eles apontam que a casca de coco apresenta 48,23% de carbono e 33,19% de oxigênio em sua composição elementar. Said *et al.* (2015) obtiveram 47,94% de carbono e 45,56% de oxigênio na casa de coco. Farrapeira e colaboradores (2019) apontaram 46,34% de carbono e 47,64% de oxigênio. Os valores descritos estão próximos aos expostos neste trabalho (Tabela 13). Podemos perceber também na tabela a presença minoritária de outros elementos químicos, como, por exemplo: potássio, cálcio, fósforo e alumínio. A variação na composição química elementar pode sofrer variações nas biomassas, consoante as características do solo em que foram cultivados. Cortez e colaboradores (2009) comentam que alguns teores podem sofrer alterações devido a várias peculiaridades, entre elas a fase de maturação do coco.

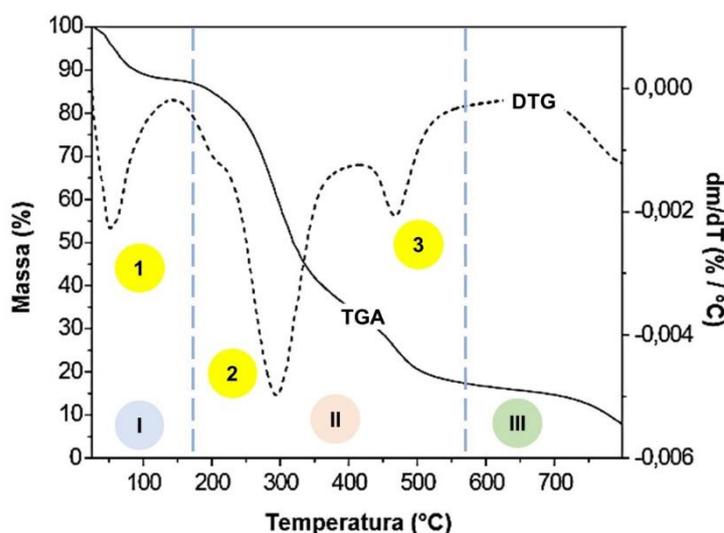
4.2 PIRÓLISE E ATIVAÇÃO DA BIOMASSA

4.2.1 Análise termogravimétrica da biomassa *in natura*

A análise termogravimétrica (TGA - do inglês *Thermogravimetric analysis*) e da derivada termogravimétrica (DGT - *Derived Thermogravimetry*) foram realizadas para determinar a temperatura de carbonização e ativação dos carvões. O TGA da amostra da biomassa do coco verde mostra as características do processo de pirólise. Este processo fornece informações sobre os resultados que envolvem uma série de reações químicas presentes na degradação térmica da biomassa, gerando como resultado a perda de peso desta biomassa (Wang; Sarkar, 2018). Por meio da análise das curvas térmicas expressas no Gráfico 4, podemos alcançar informações sobre o

processo de degradação térmica da biomassa da casca de coco verde, onde foram verificadas regiões que representam estes comportamentos.

Gráfico 4 - Curva da decomposição térmica do mesocarpo do coco verde – curva termogravimétrica (TGA) e sua derivada (DTG):



Fonte: Lima (2014, p. 47).

Estudos de TGA e DTG descrevem que o comportamento térmico da biomassa da casca de coco está na faixa de temperatura de 20°C a 950°C (Wang; Sarkar, 2018). Observando o gráfico acima, notamos a presença de três etapas (I, II e III) na curva de TGA e existência de três estágios (1, 2 e 3) de decomposição no DTG. As curvas apresentam comportamento característico para biomassas lignocelulósicas (os principais são a hemicelulose, celulose e lignina) que passam por processo de degradação térmica. As três etapas são: desidratação, perda de umidade na faixa de 50°C a 100°C; decomposição exotérmica da hemicelulose, celulose e lignina e uma abundância de matéria volátil são formados entre 250 a 400°C; e temperaturas acima de 400°C ocorre a degradação endotérmica, contínua e lenta ligada a lignina e ao fim do processo ocorre a formação de carvão e cinzas (Mansaray; Ghaly, 1998 *apud* Marcelino; Mello; Torres, 20017; Rambo, *et al.*, 2015, Wang; Sarkar, 2018). A perda de massa em temperaturas acima de 400°C pode ser atribuída à decomposição dos alcatrões (constituído de compostos aromáticos refratários ao craqueamento térmico, dificultando a sua remoção, tanto mediante processos físicos quanto químicos) (Quitete; Souza, 2014).

No Gráfico 4, também podemos perceber que na primeira etapa (temperaturas abaixo de 160°C) ocorre o decaimento da curva de TGA, gerando a perda de massa em torno de 10% (pico 1). Esta etapa pode ser caracterizada por uma diminuição de massa da biomassa acarretado pelo processo de secagem e liberação de voláteis, entre eles a eliminação de água. A segunda etapa (temperaturas de 157°C a 550°C) podemos atribuir a degradação da biomassa, cujos componentes principais são as hemiceluloses, celulosas e ligninas (Alvarez; Vázquez, 2004; Tomczak *et al.*, 2007 *apud* LIMA, 2014; Marcelino; Mello; Torres, 2017). Nesta etapa ocorreu uma perda de massa em torno de 67%. A perda de massa com uma degradação máxima em 297°C (pico 2) pode ser devido à degradação da hemicelulose e celulose. White e colaboradores (*apud* Wang; Sarkar, 2018) estudaram que a decomposição da parte celulósica da biomassa acontece em duas etapas. A primeira ocorre em baixas temperaturas (até 400°C), gerando a quebra de polímeros e formação de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e carbonáceos. A segunda, em altas temperaturas (400°C a 600°C), gera a integração de ligações, levando à formação de líquido.

O pico três representa a decomposição da lignina, que ocorre aos 467°C, representado na curva da derivada termogravimétrica. Temperaturas acima de 550°C determinam a terceira etapa, na qual a diminuição de massa não é tão significativa em consequência da decomposição térmica de outros componentes mais pesados (Yang *et al.*, 2007 *apud* Lima, 2014; Rambo *et al.*, 2015; Padilla *et al.*, 2018). Estes componentes que podem estar ligados à lignina são grãos de areia, diatomáceas, fibras celulósicas, sais inorgânicos e voláteis (Souto; Calado; Pereira Júnior, 2015).

Com base em estudos percebeu-se que a remoção e a decomposição de alguns constituintes, como a lignina e hemicelulose, podem facilitar a separação das microfibrilas de celulose (cadeias de (1,4) β-D-glicose unidas por ligações de hidrogênio, gerando uma cadeia de glicose com um arranjo diferente das regiões amorfas) (Miranda *et al.*, 2014; Laureano-Perez *et al.*, 2005).

Portanto, com base nos resultados de TGA/DTG, foi determinada a temperatura 600°C, como sendo a mais adequada para realizar o processo de carbonização e ativação do carvão do mesocarpo de coco verde, uma vez que, nesta temperatura já podemos observar uma maior degradação do material lignocelulósico.

Na Tabela 14, podemos observar as massas da biomassa do mesocarpo do coco verde (BMC), carvão (CMC600) e carvão ativado (CAMC600) obtidos e o rendimento final dos produtos.

Tabela 14 - Massas obtidas após pirólise e ativação da biomassa do mesocarpo do *Cocos nucifera*:

Massa BMC	Massa CMC600	Rendimento CMC600	Massa CAMC600	Rendimento CAMC600
349,20g	116,28g	33,3%	70,84g	78,6%

Observando os valores de rendimento alcançados na carbonização, podemos perceber que houve uma perda de 66,7% de massa entre a amostra BMC e a CMC600. O trabalho de Trazzi e colaboradores (2018) cita que existem três processos de pirólise, descrevendo o tempo que a amostra fica no reator e a taxa de aquecimento. São elas: pirólise lenta, transformação térmica da amostra em temperaturas baixas ou medias, na ausência de oxigênio; pirólise rápida, aquecimento com uma rampa térmica célere, formando uma maior proporção de bio-óleo e menor de carvão (biochar); gaseificação, pirolise em altas temperaturas e gera o carvão como subproduto. Nesta análise, Trazzi mostra que o rendimento do carvão na pirólise lenta, sendo o tipo de pirólise empregada no trabalho, pode alcançar até 35%, com uma variação entre 2 - 60%. Desta forma, o rendimento obtido está nos valores citados no trabalho de Trazzi. Já Silva e colaboradores (2012 *apud* Vieira *et al.*, 2014) descreveram em seu trabalho que a perda de massa na carbonização pode ser devido a um aumento de volatilização dos hidrocarbonetos sólidos, assim como a possibilidade de gaseificação parcial do resíduo de carbono. No estudo de Vieira e colaboradores (2014), ele também obteve em média 31% (em média) de carvão a uma temperatura de 600°C. Ele também menciona que a carbonização, conversão de madeira em carvão, processa-se durante a temperatura inicial até 500°C. Já na faixa de temperatura de 500 - 900°C, o carvão vegetal passa por um rearranjo estrutural.

A estrutura e composição química dos carvões é muito heterogênea. À vista disto, as características físico-químicas do carvão podem demonstrar alto teor de carbono e de grau de aromaticidade, gerando um alto nível de recalcitrância. Portanto,

a composição química e estrutural irá depender da combinação da matéria-prima e das condições de pirólise (Verheijen *et al.*, 2009 *apud* Trazzi *et al.*, 2018).

Com base nestes resultados, podemos dizer que a diminuição da massa, gerando um rendimento de 33,3% entre a amostra BMC e a CMC600, está na faixa obtida em outros trabalhos. Importante salientar que a carbonização é um processo que gera redução de massa por gerar conteúdo volátil como hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O) e metano (CH_4), olefinas, benzeno, alcatrão e impurezas inorgânicas (Quitete; Souza, 2014; McDougall, 1991). Na Figura 24 podemos observar a presença destes gases no *trap* de coleta de gases.

Ao realizar a análise do rendimento da CAMC600, partindo da amostra CMC600, podemos notar uma percentagem de 78,3% (etapa ativação física do carvão). Na ativação ocorre o desenvolvimento da área superficial, gerando os poros responsáveis pela adsorção. Percebemos que a massa residual apresentada pela CAMC600 é maior quando comparada ao seu precursor CMC600 por apresentar uma maior estabilidade térmica.

A presença de um agente oxidante, como o vapor d'água, oxida os reagentes mais reativos presentes no esqueleto de carbono e libera monóxido e dióxido de carbono. Essa reação é de difícil controle, podendo causar uma queima excessiva da superfície externa do carbono, resultando em uma diminuição média das partículas, e por conseqüências reduzir o rendimento final (McDougall, 1991).

Figura 24 – *Trap* de coleta de gases, durante processo de carbonização.



Fonte: Sobral, 2019.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA, CARVÃO, CARVÃO ATIVADO E CARVÃO ATIVADO FUNCIONALIZADO

4.3.1 Determinação do teor de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo

Os teores de umidade, voláteis, cinzas e de carbono fixo são denominados de análise imediata. Trata-se de técnicas simples para compreender a composição da biomassa, carvão e carvão ativado por meio de sua umidade (TU), materiais voláteis (TMV), cinzas (TCZ) e carbono fixo (TCF). Assim sendo, na Tabela 15 estão dispostos os valores da análise imediata das amostras BCM, CMC600, CAMC600, CAMC760 e CACm.

Na Tabela 15 estão dispostos os valores obtidos nos experimentos de TU, TMV, TCZ e CF. Podemos notar que o teor de umidade (teor de água e de outras substâncias voláteis removidas da amostra com aquecimento) das amostras apresentam variações de percentagem quando comparadas. Sendo que as amostras produzidas no laboratório (BMC, CMC600 e CAMC600) apresentam TU com valores maiores, já as amostras comercializadas (CAMC760 e CACm), apresentaram valores menores que 5%. Marcelino, Mello e Torres (2017) obtiveram um TU de 9,87% do *chip* da casca de coco. Alguns autores, como Garcia *et al.* (2012), Roult *et al.* (2016) (*apud* Marcelino; Mello; Torres, 2017), citam que o teor de umidade pode ficar na faixa entre 8-10%.

Tabela 15 – Valores dos teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo das amostras estudadas:

Amostra	Teor de umidade (TU)	Teor de voláteis (TMV)	Teor de cinzas (TCZ)	Teor de carbono fixo (TCF)
BMC	9,52%	59,68%	2,79%	28,01%
CMC600	9,29%	30,82%	13,23%	41,66%
CAMC600	9,09%	29,70%	2,57%	58,64%
CAMC760	8,26%	28,60%	2,96%	60,18%
CACm	5,26%	27,70%	7,26%	59,78%

Com base nestes valores, podemos afirmar que os valores obtidos no TU das mostras estudadas estão consoantes com os dados encontrados na literatura e que o teor de umidade está segundo o valor encontrado no TG, Figura 15, que apresentou 10% de teor de umidade. Não podemos deixar de mencionar que quanto maior o TU, menor será a capacidade de combustão, ocasionado pelo processo de evaporação da umidade, já que ele absorve energia de combustão, desta forma dificultando a carbonização. Entretanto, Damásio e colaboradores (2015) citam em sua pesquisa que para se obter uma amostra adequada de carvão vegetal o TU deve estar abaixo de 5%, o TMV deve ser menor que 23%, o TCZ menor que 1,5% e o TCF deve ser maior que 75%. Eles relatam que a falta de um controle adequado da temperatura interna em um forno de carbonização, geram amostras heterogêneas (carbonizadas e semicarbonizadas). Observando estes fatos, podemos perceber que nenhuma das amostras se enquadram totalmente no estudo realizado por Damásio e seus colaboradores.

Em relação aos valores do TMV, Marcelino, Mello e Torres (2017) obtiveram teores de voláteis de 68,49% e aponta os trabalhos de Jenkins (1990), Nogueira e Rendeiro (2008) que mencionam valores de TMV na faixa de 50 - 80%. Cortez e colaboradores (2009) também citam os valores encontrados por Jenkins, com TMV 73,30%, e reportam que encontraram na fibra e na casca do coco valores de TMV de 71,60%. Na pesquisa, eles relatam que valores elevados de teor de voláteis é comum em biomassas. Considerando os valores mencionados e observando o TMV da amostra BMC, inferimos que os valores descritos anteriormente se enquadram com os valores obtidos nas amostras estudadas. Nas amostras CMC600 e CAMC600 os valores de TMV, apresentam um decréscimo, isto porque o efeito da pirólise em processos contínuos (ou seja, carbonização e depois ativação) geraram os voláteis, liberados durante cada etapa destes processos, possibilitando a volatilização destes compostos e gerando seu decréscimo. Joseph e colaboradores (2009, *apud* Andrade *et al.*, 2017; Din; Hameed; Ahmad, 2009) explicam que a pirólise e altas temperaturas são processos em que uma maior parte das substâncias orgânicas são degradadas em alcatrões gasosos e líquidos.

Cabal e colaboradores (2009, *apud* Pruchniak; Silva; Quinéia, 2020) expõem que valores menores de TMV representam menos poros na superfície destes materiais carbonáceos, onde podemos evidenciar nas amostras BCM (59,68%), CMC600 (30,82%) e CAMC600 (29,70%). A porcentagem de volátil corrobora e está

consoante ao resultado da porosidade esperado nestas amostras, uma vez que a carbonização sofrida pela biomassa (que não possui poros) formou estruturas de poros rudimentares (poros finos) na superfície. Já na etapa de ativação (CACMC600), os poros são ampliados e novos poros foram formados.

Com base no teor de materiais voláteis podemos determinar o “inchamento” dos carvões (etapa gerada pela pressão dos gases entrando na estrutura dos poros do carvão). Portanto, carvão com baixo TMV apresenta uma retenção de gases maior, proporcionando ao se expandir, aumento de volume. Em um carvão com alto TMV os gases desprendem-se celeremente, desta maneira, o carvão não se dilata, proporcionando um baixo “inchamento” podendo até gerar uma contração de volume (Lu; Connel, 2010).

O teor de cinza expressa o percentual de material inorgânico presente na amostra. Andrade e colaboradores (2017) descreve o TCZ como a porção que sobrou após a volatilização dos compostos orgânicos degradados. Eles detalham que o mesocarpo do coco apresenta baixos TCZ que aumenta gradativamente com a temperatura. O que foi observado nas amostras CAMC600 e CAMC76, que passaram pelo processo de ativação nas temperaturas de 600°C e 760°C, respectivamente. Padilla e colaboradores (2018) explica que a volatilização produzida pela carbonização, aumenta a quantidade compostos minerais que não volatilizam, na constituição nos carvões. Este estudo pode explicar por que as amostras com menor teor de voláteis tem um teor de cinza maior.

Verificamos que a amostra CMC600 apresenta o maior valor de cinzas entre as amostras pesquisadas. Podemos afirmar que a amostra possui uma proporção maior de elementos minerais em sua composição. Jenkins e Ebeling (1985 *apud* Cortez *et al.*, 2009; Marcelino; Mello; Torres, 2017) relata o TCZ de 8,25% da biomassa da casca do coco. O TCZ da biomassa do coco também é relatado na literatura com valores de 1,4% e 0,4% (Garcia *et al.*, 2012; Vale; Barbosa; Quirino, 2004 *apud* Marcelino; Mello; Torres, 2017). Estes últimos valores de TCZ estão mais coerentes com os valores encontrados nas amostras da Tabela15. A diferença dos valores de TCZ pode ser explicado com a heterogeneidade dos solos onde foram coletadas as biomassas estudadas. Fatores como fertilidade do solo, nutrição durante o plantio podem influir nas proporções de minerais presentes na biomassa.

O teor de cinza da amostra CMC600 é maior porque o conteúdo de cinzas aumenta em proporção direta com o grau de ativação que pode ser utilizado para

determinar a matéria-prima utilizada para produzir um carvão ativado. Por exemplo, biomassa do coco pode conter 1 - 3% em peso de cinzas, já carvões da biomassa do coco tem TCZ na faixa de 6-20% (Reinoso; Albero, 2016). Importante enfatizar que o teor de cinzas é um indicador da qualidade de um carvão ativado. Em geral, a porcentagem de cinzas em um carvão ativado comercial será de 10% (Bernard *et al.*, 1997 *apud* Jaguaribe *et al.*, 2005, p.44). O carvão comercial (CACm) utilizado neste estudo apresentou TCZ de 7,26%.

O carbono fixo (CF) é o resultado da fração final após a saída da umidade, dos voláteis e cinzas. Analisando os resultados, observamos um aumento do carbono fixo nas amostras produzidas em laboratório (BMC, CMC600 e CAMC600). Chavez e colaboradores (2013 *apud* Figueiredo *et al.*, 2018) mencionam que o CF está relacionado com o valor do TMV, ou seja, quanto maior o TMV menor será o CF. As três amostras estudadas seguem a regra citada por Chavez. O aumento do CF está associado à submissão contínua das amostras do carvão e depois do carvão ativado a altas temperaturas, ocasionando a volatilização e degradação de constituintes do mesocarpo do coco, levando à perda de massa (Padilla *et al.*, 2018). Wigmans (1989) cita que o carbono fixo favorece a ativação do carvão. Portanto, as propriedades de um carvão devem ser maiores percentagens de CF, menores de TMV e TCZ.

4.3.2 Determinação do pH

A determinação do pH é um critério a ser compreendido, já que define as interações eletrostáticas, importantes durante a adsorção. Os valores dos potenciais hidrogeniônicos (pH) estabelecem a carga superficial do carvão e a dissociação do eletrólito (Martinez *et al.*, p. 36, 2011). Dabrowski *et al.*(2005, *apud* Martinez *et al.*, 2011) menciona que a sorção em carvões ativados será conduzida pelas interações físico-químicas, a presença de microporos e as propriedades de acidez e basicidade da superfície.

A superfície destes materiais pode ser de caráter ácido ou básico. O caráter ácido está associado à presença do oxigênio na superfície ou funções oxigenadas como: fenóis, ácidos carboxílicos e ésteres. Em contrapartida, a basicidade nas superfícies pode estar correlacionada com a presença de pironas, benzopiranos, éteres e carbonilas, entre outros (Lopez-Ramon *et al.*, 1999). A característica neutra

pode ser determinada com a presença de grupos carbonila e o oxigênio do éter (Lahaye, 1998; Fuente *et al.*, 2003; Boehm, 1994; Boehm, 2002; Donnet, 1968 *apud* Figueiredo; Pereira, 2010).

Na Tabela 16 estão expostos os valores potenciais hidrogeniônicos (pH) obtidos experimentalmente e os valores alcançados por meio do kit de testes da Alfakit®. Considerando os valores expostos na tabela, podemos afirmar que a amostra BMC, CAMC600_HN/HS, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS exibem caráter ácido. As amostras do carvão (CMC600) e dos carvões ativados (CAMC600 e CAMC760) manifestam caráter alcalino. Já as amostras CACm e CAMC600_PH apresentaram grupos na sua superfície que determinam suas características neutras. Podemos notar que os valores medidos por meio do peagâmetro são iguais aos obtidos por meio da solução de revelação de pH.

Tabela 16 - Valores de pH das amostras da biomassa, carvão, carvões ativados e carvões ativados funcionalizados:

Amostras	pH	Alfakit® pH
BMC	4,49	4
CACm	7,56	7
CMC600	10,47	10
CAMC600	10,60	10
CAMC600_PH	7,53	6
CAMC600_HN/HS	3,49	4
CAMC760	9,11	9
CAMC760_PH	6,78	6
CAMC760_HN/HS	5,32	6

Jankowska e colaboradores (1991) e Nevskaia e colaboradores. (1999) (*apud* Jaguaribe *et al.*, 2005) citam que a basicidade ou acidez de um carvão ativado depende de sua preparação, da presença de compostos inorgânicos e grupos de oxigênio quimicamente ativos em sua superfície, assim como o tipo de tratamento ao qual o carvão ativado foi submetido. A mudança no potencial hidrogeniônico (pH) da amostra que corresponde a biomassa (BMC) para as amostras de carvão (CMC600)

e carvão ativado (CAMC600) para um pH básico está relacionado com a carbonização e ativação das amostras (em altas temperaturas), fazendo com que a superfície destas amostras perca oxigênio, por meio da degradação e evaporação das substâncias orgânicas.

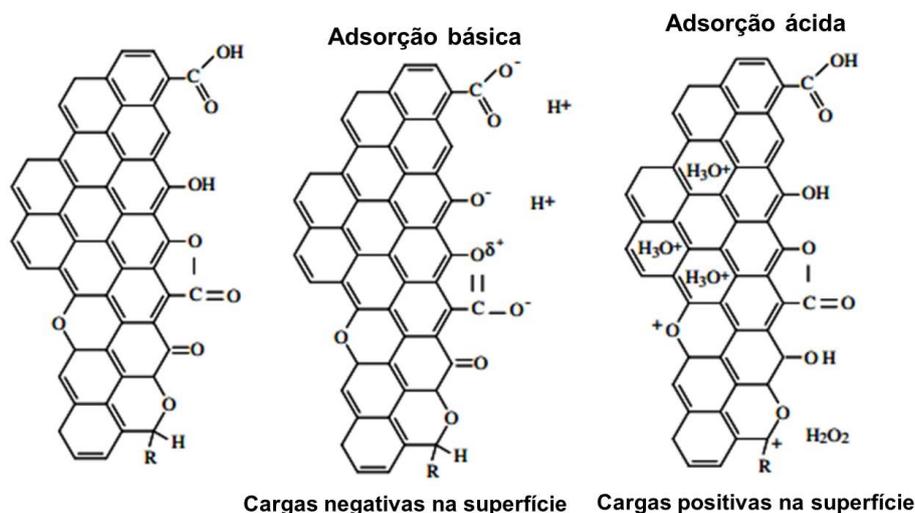
Na publicação de 1967, Snoeyink e Weber Jr. citam a revisão dos trabalhos de Boehm (1966), Garten e Weiss (1957) que descreve a temperatura de ativação como um fator determinante para transformação da superfície dos carvões ativados. Neste trabalho, eles determinaram que o carbono ativado a 400°C será a base, enquanto o carbono ativo entre 800°C até 1000°C sua superfície será ácido. Carbono ativado a temperaturas intermediárias terá características entre ácido e base.

4.3.3 Determinação do Ponto da Carga Zero

Estabelecer o Ponto de Carga Zero (PCZ) é importante, uma vez que prevê o desempenho das cargas na superfície do adsorvente em função de um pH do meio e a fase de ionização do adsorvato. Este é um parâmetro relevante que afeta a capacidade de adsorção de íons na superfície do carvão ativado, já que os processos de adsorção são dependentes do pH do meio, uma vez que influencia a carga superficial do adsorvente e o grau de ionização às espécies do adsorbato (Srivastava *et al.*, 2006 *apud* Barbosa *et al.*, 2014; Elliott; Huang, 1981 *apud* Silva *et al.*, 2021).

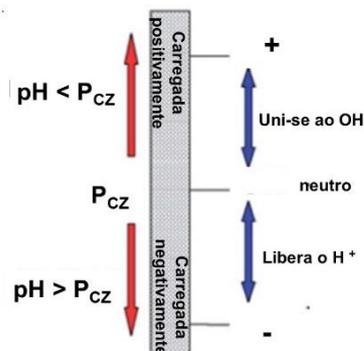
O efeito dos grupos de superfície e a influência que eles exercem sobre o caráter ácido ou básico dos carbonos deve ser destacado, já que os carvões ativados são anfotéricos por natureza. Ou seja, possuem sítios ácidos e básicos que coexistem em sua superfície. Considerando o pH do meio em relação ao ponto de carga zero do carvão ativado teremos: o $\text{pH} > \text{pH}_{\text{PCZ}}$, as funcionalidades ácidas se dissociarão, liberando prótons no meio e deixando uma superfície carregada negativamente no carbono e, se o $\text{pH} < \text{pH}_{\text{PCZ}}$, os sítios básicos combinam-se com os prótons do meio para deixar uma superfície carregada positivamente (Menéndez-Díaz; Martín-Gullón, 2006; Figueiredo, 2013; Freitas; câmara; Martins, 2015). Podemos observar este comportamento na representação esquemática nas Figuras 25 e 26.

Figura 25 - Representação esquemática do comportamento ácido e básico da superfície contendo grupos oxigênio e elétrons π deslocalizados do plano basal.



Fonte: Menéndez-Díaz; Martín-Gullón (2006, p.11).

Figura 26 – Mecanismo de adsorção eletrostática com base no P_{CZ} .



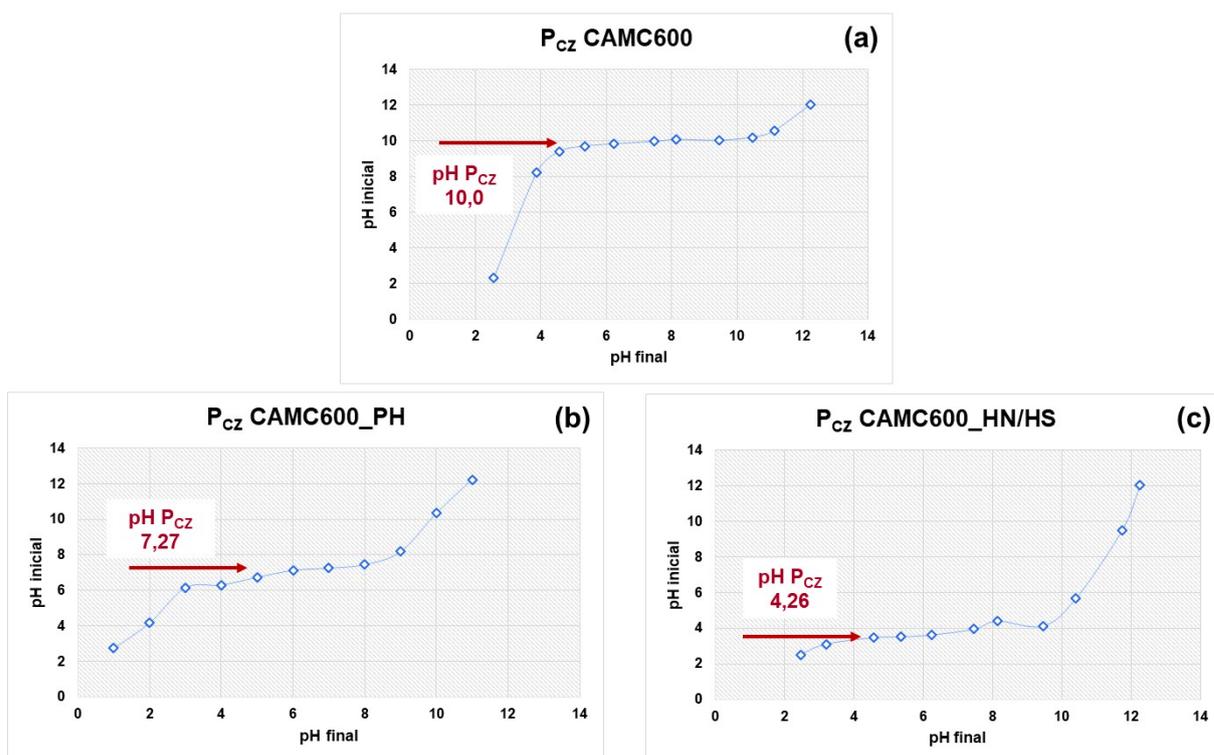
Fonte: Figueiredo (2013, p. 9358) com adaptações.

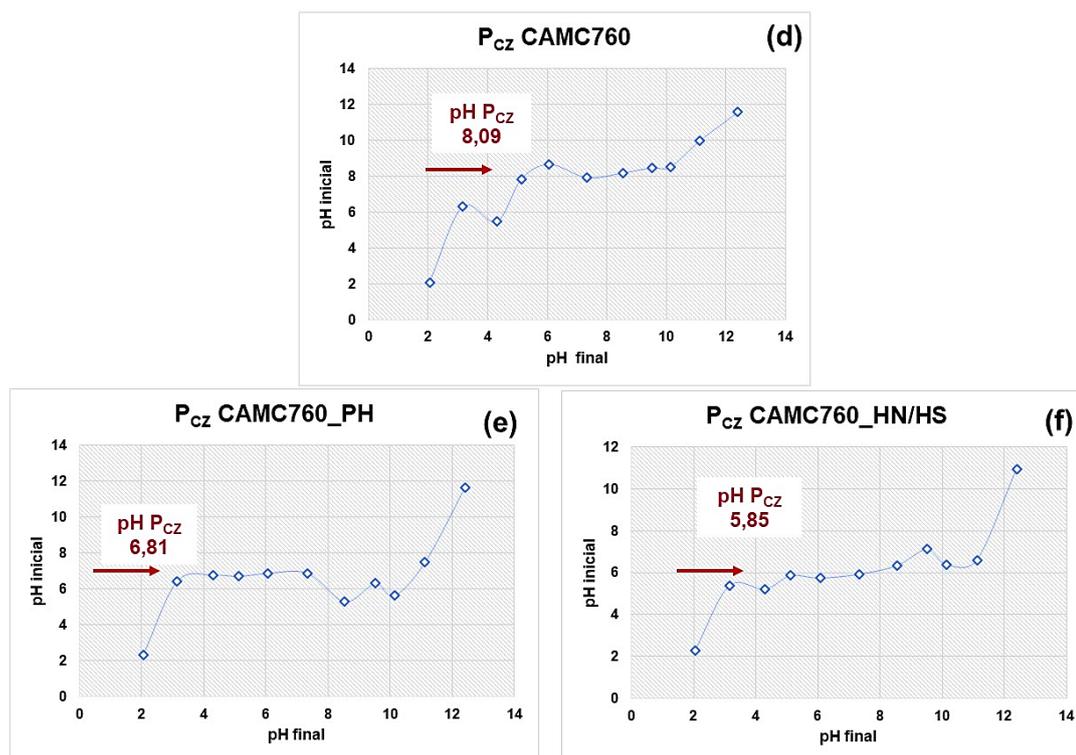
Refletindo as considerações acima, as interações e a capacidade de adsorção dos carvões ativados podem ser otimizadas modificando a química da superfície carbonácea (e/ou o pH do meio). Os carbonos básicos são atraídos para adsorver moléculas ácidas, enquanto os carbonos ácidos terão melhor desempenho para a adsorção de compostos básicos. Além disso, a adsorção de cátions será favorecida (por forças eletrostáticas) se a superfície do carbono estiver carregada negativamente, enquanto a adsorção de ânions será aumentada em uma superfície carregada

positivamente (Menéndez-Díaz; Martín-Gullón, 2006; Figueiredo, 2013; Freitas; câmara; Martins, 2015).

No experimento, as amostras estudadas, a obtenção do valor do P_{CZ} foi logrado por meio de um gráfico de pH final versus pH inicial. Foi realizado um cálculo da média entre os pontos no qual o pH final fica constante, sem considerar o pH inicial. Nesta reta, a superfície do carvão porta-se como um tampão (Guilarduci *et al.*, 2006 *apud* Lima, 2014). Os resultados dos pH do ponto de carga zero (pH_{PCZ}) estão apresentados nos Gráficos 5a até 5f.

Gráfico 5 – Determinação do pH_{PCZ} das amostras de carvões ativados, (a) CAMC600 e (d) CAMC760 e carvões ativados funcionalizados, (b) CAMC600_PH, (c) CAMC600_HN/HS, (e) CAMC769_PH e (f) CAMC760_HN/HS:





Podemos constatar que os carvões ativados, ativados em uma atmosfera inerte, manifestassem grupos básicos. Para Wibowo e colaboradores. (2007), os carvões comumente exibem um caráter básico depois do tratamento térmico em altas temperaturas (acima de 700°C), em atmosfera inerte.

Os carvões funcionalizados, que foram tratados com agente ácidos, podem ter reagidos com grupos básicos como cromenos e pironas, e formando grupos ácidos ocasionados pela abertura dos heterociclos, provocando a redução do pH das amostras, o que podemos notar neste estudo com os valores de pH_{PCZ} (Julien *et al.*, 1998).

Defrontando os valores descritos nos gráficos e sabendo que os pH_{PCZ} apresentados comportam-se como uma solução tampão (superfície do carbonáceo apresenta carga neutra) (Guilarduci *et al.*, 2006), as amostras, CAMC600_PH (pH_{PCZ} 7,27), CAMC600_HN/HS (pH_{PCZ} 4,26), CAMC760_PH (pH_{PCZ} 6,81) e CAMC760_HN/HS (pH_{PCZ} 5,85) apresentam pH_{PCZ} na qual a adsorção do cátion é favorecida a um $pH > pH_{PCZ}$. A adsorção de ânions é favorecida quando $pH < pH_{PCZ}$ (Silva *et al.*, 2016, Clark, 2010, *apud* Menezes *et al.*, 2017). Como o pH_{PCZ} desses carvões é inferior a 7, eles apresentam equilíbrio de carga na região ácida, ou seja,

no $\text{pH} < \text{pH}_{\text{PCZ}}$ a superfície dessas matrizes carbonáceas está carregada positivamente e pode atrair ânions (Khanal *et al.*, 2020).

Ferreira e coautores (2014) descreveram que o coco de babaçu exibiu um ponto de carga zero de 3,9, fazendo com que a superfície da amostra se apresenta ácida e neutra. Para que o paracetamol, que possui pK_a de 9,7, seja mais adsorvido, o pH da solução deve ser maior que o pH_{PCZ} do adsorvente e valor menor que o pK_a do fármaco.

Freitas; Câmara; Martins (2015) relatam em seu artigo que nas pesquisas realizadas por Souza (2009) e Cambium (2009) que o valor do ponto de carga zero do mesocarpo do coco encontrado foi quatro, podendo ser utilizado, desta forma, para adsorver corantes têxteis, como o turquesa remazol e azul remazol. Teremos que a adsorção do corante ácido é favorecida em pH de solução acima do pH_{PCZ} . Em contrapartida, se o pH da solução for maior que o pH_{PCZ} do material sólido, a superfície ficará carregada negativamente, então o adsorvente é indicado para a remoção de corantes catiônicos (Deolin *et al.*, 2016).

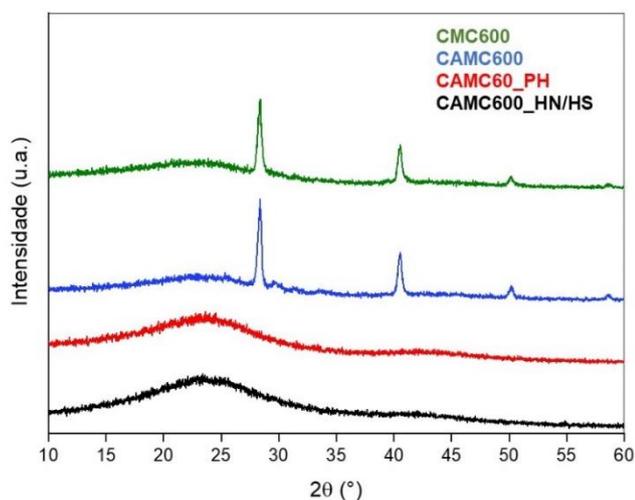
O resultado mostrado na Figura 5 prevê que o resultado das superfícies de carga positiva dos carvões ativados e carvões ativados funcionalizados seguem a ordem crescente: CAMC600 < CAMC760 < CAMC600_PH < CAMC760_PH < CAMC760_HN/HS < CAMC600_HN/HS. A adsorção de ânions na superfície aumenta neste mesmo sentido apresentado (Khanal *et al.*, 2020; Rosson *et al.*, 2020).

4.3.4 Espectroscopia por Difração de raios X

A caracterização por difração de raios X (DRX - do inglês *X-ray diffraction*) mostra o resultado dos padrões de difratograma das amostras estudadas e permite a identificação e caracterização das fases cristalinas presentes nestas amostras.

Observamos na Gráfico 6 que as amostras do carvão (CMC600) e carvão ativado (CAMC600) exibem três picos agudos em ângulos de $2\theta = 28,4^\circ$, $2\theta = 40,6^\circ$ e $2\theta = 50,2^\circ$ revelando uma estrutura característica da estrutura hexagonal do grafite. Os picos se apresentam estreitamente, deduz-se que as amostras apresentam cristalinidade, corroborando com os dados encontrados na literatura (Philip, 2009 *apud* Silupú *et al.*, 2017). O pico agudo é produzido devido ao melhor alinhamento da camada (Kennedy *et al.*, 2007; Pechyen *et al.*, 2007 *apud* Das *et al.*, 2015).

Gráfico 6 - Padrão DRX das CMC600, CAMC600, CAMC600_HP e CAMC600_HN/HS mostrando os picos característicos correspondentes aos diferentes planos de cristal na estrutura do material:



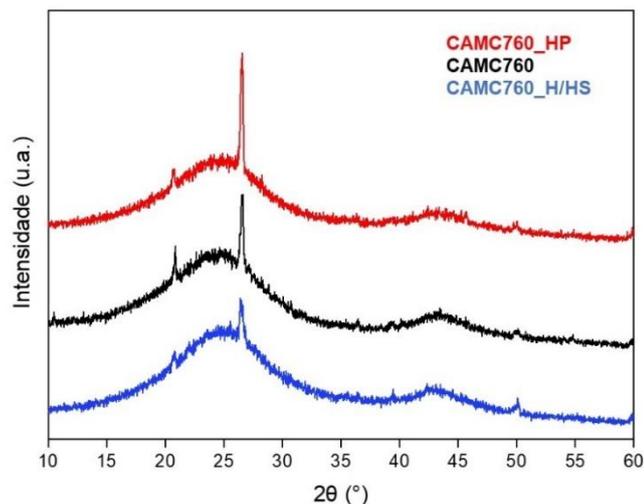
Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão com dados do Laboratório de Raios X do Instituto de Química da UFBA.

As amostras funcionalizadas (CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS) submetidas ao peróxido de hidrogênio e pela mistura de ácido nítrico e ácido sulfúrico revelaram picos amplos da difração que sugerem que as amostras possuem a predominância de estruturas halo amorfa (estruturas desordenadas sem uma organização cristalina definida) (Philip, 2009 *apud* Silupú *et al.*, 2017). A ausência de picos agudos nos carvões ativados funcionalizados sugere que sua estrutura é predominantemente amorfa, o que pode ser uma propriedade vantajosa para adsorventes (Kennedy *et al.*, 2007; Pechyen *et al.*, 2007 *apud* Das *et al.*, 2015; Moosavi *et al.*, 2020).

Bakti e Garesco relatam que amostras de carvão ativado com cloreto de zinco ($ZnCl_2$) e carbonato de sódio (Na_2CO_3), respectivamente, exibiram dois picos amplos de difração, localizados em $2\theta = 30^\circ - 40^\circ$ e $2\theta = 40^\circ - 50^\circ$, que revelam uma estrutura amorfa empilhada irregularmente por anéis de carbono que são úteis, para gerar uma lacuna para adsorção.

As amostras de carvões ativados (CAMC760) e carvões ativados funcionalizados (CAMC760_HP e CAMC760_HN/HS) apresentaram os padrões de difração mostrados nos gráficos da Gráfico 7.

Gráfico 7 - Padrão DRX das CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS mostrando os picos característicos correspondentes aos diferentes planos de cristal na estrutura do material:



Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão com dados do Laboratório de Raios X do Instituto de Química da UFBA.

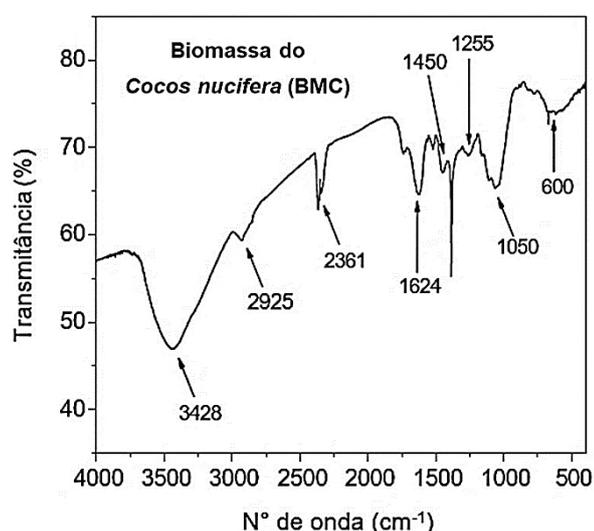
Podemos notar picos no ângulo de difração de $2\theta = 20,8^\circ$, $2\theta = 26,5^\circ$ (pico agudos), $2\theta = 45,7^\circ$ e $2\theta = 50,2^\circ$, que podem corresponder a minerais de silicato, minério de ferro, quartzo e silicato de sódio (Pradhan, 2011 *apud* Bakti; Garesco, 2018) que podem ser atribuídos a outras estruturas cristalinas remanescentes presentes nas amostras *in natura* (biomassa). Podemos observar que, mesmo após a funcionalização, estes picos não foram removidos.

As três amostras de carbono ativo e ativo funcionalizado mostraram dois amplos picos de difração localizados em $2\theta = 24^\circ$ e $2\theta = 44^\circ$, que revelaram uma camada amorfa que possui estrutura irregularmente empilhada com anéis de carbono formando lacunas adsorptivas (Bakti; Garesco, 2018). Souza *et al.* (2021) retrataram que carvões ativados são materiais carbonáceos com estrutura cristalográfica desorganizada, formada por microcristais distribuídos aleatoriamente.

4.3.5 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier

O espectro de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR – do inglês *Fourier-transform infrared*) da biomassa do mesocarpo do *Cocos nucifera* (BMC) está apresentado na Gráfico 8. O espectro apresenta diferentes grupos funcionais, correspondendo à composição provável com base na estrutura da celulose e hemicelulose (Bilba; Ouensanga, 1996 *apud* Cunha, 2011).

Gráfico 8 – Espectro de FTIR da amostra da Biomassa do *Cocos nucifera* (BMC).



Fonte: Lima (p. 50, 2014).

O espectro da amostra BMC exibiu as seguintes bandas: 3428cm^{-1} , correlacionada a grupos hidroxilas (OH), com ligação intermolecular, coerente com a umidade presente no material. Esta banda está relacionada com a vibração de estiramento da ligação (O-H), associado a grupos fenóis e álcoois (Chen; Zhou; Zhu, 2008; Cunha *et al.*, 2011; Barbosa *et al.*, 2014) e grupos pertencentes à estrutura da celulose e hemicelulose (Yang; Yan; Chen, 2007 *apud* Oliveira; Coelho; Melo, 2018).

As bandas 2925 , 2361 e 1450cm^{-1} são atribuídas a grupos metila (CH_2) de grupos alifáticos, de unidades de biopolímeros (Chen; Zhou; Zhu, 2008). Os picos 1624cm^{-1} são atribuídos a (C=C) e (C=O), de alongamento do anel aromático (Zhu; Kwon; Pignatello, 2009 *apud* Chen; Zhou; Zhu, 2008). A banda 1255cm^{-1} é atribuída aos alongamentos aromáticos do (C-O) e fenólico (O-H). O pico apresentado em 1050cm^{-1} associa-se à deformação por estiramento (C-O) relativo a álcool, éter e éster

presentes na estrutura da celulose, hemicelulose e lignina (Ebrahimi *et al.*, 2017). A banda em 600cm^{-1} pode ser atribuída à deformação da ligação (O-H) fora do plano (Lima, 2014).

Utilizando o suporte destas análises, podemos detalhar os principais grupos oxigenados presentes na superfície do mesocarpo do coco verde estão distribuídos na forma de ésteres, éteres, álcoois e fenóis. Esses grupos podem ser correlacionados ao processo de adsorção (Oliveira; Coelho; Melo, 2018).

O Gráfico 9 mostra os espectros da biomassa carbonizada (CMC600) do carvão ativado (CAMC600) e carvões funcionalizados (CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS) que foram produzidos em laboratório. Observando os espectros, notamos uma semelhança entre os perfis dos sólidos do carvão ativado e carvões funcionalizados. Confrontando o espectro da biomassa com as amostras carbonizadas, ativadas e funcionalizadas, podemos perceber diferenças com a supressão e perda de intensidade nas bandas dos grupos funcionais.

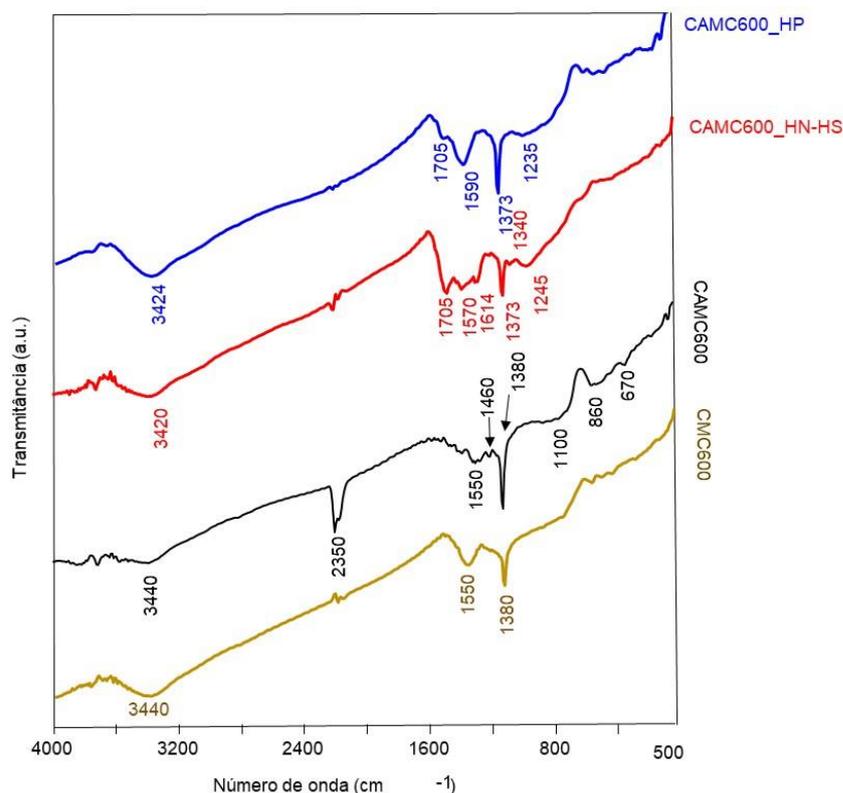
Constata-se uma banda larga de absorção próxima a $3440\text{-}3420\text{cm}^{-1}$ característica da vibração de estiramento das ligações (O-H), de água adsorvida fisicamente no sólido, ou a grupos oxigenados fenóis, álcoois e/ou ácidos carboxílicos (Oliveira *et al.*, 2017).

Avaliando os espectros da Gráfico 9 notamos a ausência da banda em aproximadamente 2925cm^{-1} (presente no Gráfico 8), atribuída aos estiramentos vibracionais simétricos e assimétricos de grupos CH, comprovando a ocorrência da pirólise da BMC (Brum *et al.*, 2008).

A banda 2350cm^{-1} é atribuída a grupos metila (CH_2) de grupos alifáticos, de unidades de biopolímeros (Chen; Zhou; Zhu, 2008). A mesma banda desapareceu na amostra CMC600 e nas amostras funcionalizadas, entretanto, ela está presente na biomassa (BMC).

No espectro das amostras CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS, notamos uma banda de 1705cm^{-1} pertencente ao grupo carbonila ($\text{C}=\text{O}$), um grupo funcional que compõem aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres e haletos ácidos (Bakti; Gareso, 2018). Esses grupos podem ter sido formados após a funcionalização.

Gráfico 9 - Espectros de FTIR das amostras CMC600, CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS:



Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão, obtidos na Central Analítica – PPEQ/UFBA.

O espectro da amostra funcionalizada com ácido nítrico e sulfúrico sugere que a banda em 1614cm^{-1} correspondente ao estiramento de ligações C=O de grupos carboxílicos, amida, cetonas, aldeídos e ésteres ou ao estiramento da ligação C–O de grupos carboxílicos ionizados (C=O/C–O) (Coltro *et al.*, 2023).

Todos os espectros apresentam banda com variação entre $1590\text{-}1550\text{cm}^{-1}$ atribuída ao alongamento da ligação (C=C) do anel aromático, sugerindo a existência de anéis aromáticos na estrutura dos carbonáceos (Puziy *et al.*, 2005).

As amostra funcionalizadas exibiram banda de $1245/1235\text{cm}^{-1}$ referente ao estiramento de (C–O) em éteres, álcoois e fenóis e deformação de (OH) de grupos carboxílicos (C–O) (Coltro *et al.*, 2023).

A banda de 1100cm^{-1} presente na amostra CAMC600 é atribuída à vibração de estiramento C-O, presente em grupos hidroxila e fenol. (Das; Samal; Meikap, 2015).

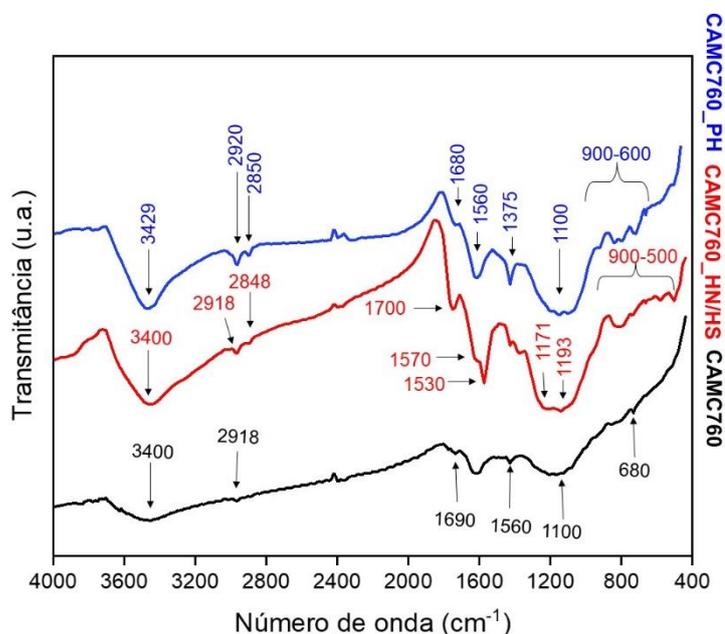
As bandas em 1380 , 1373 , 1340 e 1373cm^{-1} estão relacionadas às vibrações de estiramento de ligações de lactonas (Bandosz; Ania, 2006). As bandas de baixa intensidade em 860 e 670cm^{-1} são associadas às vibrações de flexão fora do plano

de ligações (C–H) de compostos aromáticos. Uma vez que, bandas intensas de deformações (C-H) fora do plano dos anéis benzênicos ocorrem entre $900\text{-}650\text{cm}^{-1}$.

A região associada nas bandas $2000\text{-}1600\text{cm}^{-1}$ indica a presença dos compostos aromáticos (Amaral; Sakane, 2007).

O tratamento de carbonização e ativação contribuiu para melhorar a força e a aromaticidade do esqueleto de carbono, mas também transformou elementos não carbônicos em moléculas voláteis que escaparam em temperaturas mais altas.

Gráfico 10 - Espectros de FTIR das amostras CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS:



Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão, obtidos na Central Analítica – PPEQ/UFBA.

O Gráfico 10 mostra os espectros do carvão ativo da marca Belle Chemical®, foi ativado a 760°C (CAMC760) e dos carvões ativados que foram funcionalizados (CAMC760_HP e CAMC760_HN/HS). Observando os espectros, notamos uma semelhança entre os perfis dos sólidos. Confrontando o espectro podemos perceber diferenças com a supressão e perda de intensidade nas bandas dos grupos funcionais.

Constata-se uma banda larga de absorção, em todas as amostras, próxima a 3400cm^{-1} características da vibração de estiramento das ligações O-H, de água

adsorvida fisicamente no sólido, ou a grupos oxigenados fenóis, álcoois e/ou ácidos carboxílicos (Oliveira *et al.*, 2017).

Os picos de absorção na faixa de 2900-2850 cm^{-1} são da vibração que mostra a presença de estiramento O-H e grupos carboxílicos (Das; Samal; Meikap, 2015). Estas bandas não estão presentes nas amostras do Gráfico 9, podendo demonstrar que estas amostras apresentam menos grupos carboxílicos.

Todas as amostras apresentam uma banda em torno de 1700-1680 cm^{-1} que são atribuídas ao oscilações dos grupos funcionais N-H e O-H (Lazim *et al.*, 2015).

Em 1375-1000 cm^{-1} mostra estiramento C-O e os grupos funcionais que exibem a vibração de álcool, ácido carboxílico, ésteres e éteres (Khelifi *et al.*, 2010 *apud* Das; Samal; Meikap, 2015). Uma banda larga em 1100 cm^{-1} atribuída à vibração de estiramento C-O, presente em grupos hidroxila e fenol. Apenas as amostras CAMC760, CAMC760_PH e CAMC600 (Das; Samal; Meikap, 2015). Podendo demonstrar que apenas estas amostras possuem estes grupos em sua estrutura.

As bandas de baixa intensidade em 680 cm^{-1} (CAMC760), 900-600 cm^{-1} (CAMC760_PH) e 900-500 cm^{-1} (CAMC760_HN/HS) são associadas às vibrações de flexão fora do plano de ligações C-H de compostos aromáticos. Uma vez que, bandas intensas de deformações C-H fora do plano dos anéis benzênicos ocorrem entre 900-650 cm^{-1} . A região associada nas bandas 2000–1600 cm^{-1} indica a presença dos compostos aromáticos (Amaral; Sakane, 2007).

O tratamento de carbonização e ativação contribuiu para melhorar a força e a aromaticidade do esqueleto de carbono, mas também transformou elementos não carbônicos em moléculas voláteis que escaparam em temperaturas mais altas.

Os resultados alcançados com o FTIR propõem presença de um número significativo de grupos superficiais ácidos nos carvões ativados funcionalizados, o que foi confirmado pelos valores obtidos do ponto de carga zero (PCZ).

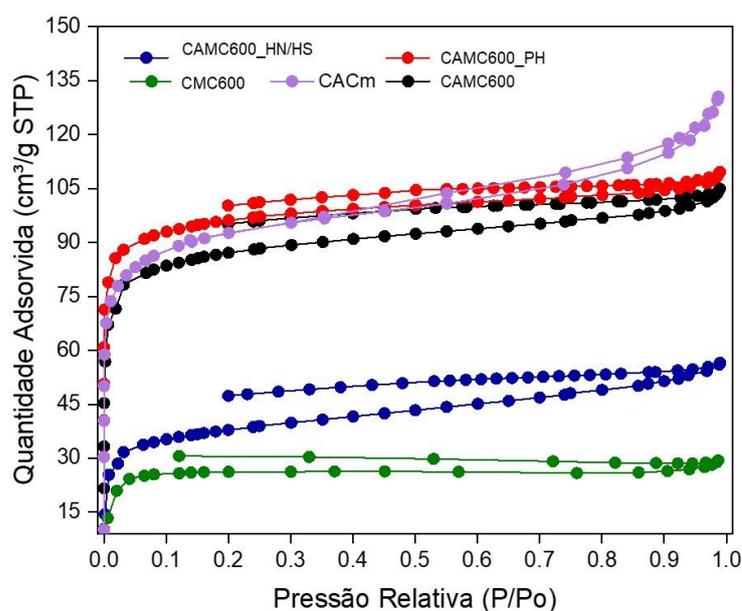
Cazetta e colaboradores (2016 *apud* Bedia *et al.*, 2020) relataram valores de pH_{PCZ} de 4,51, 4,12 e 4,10 para carvões ativados magnéticos e ativados com cloreto férrico (FeCl_3) de casca de coco com taxas de impregnação de 1, 2 e 3, respectivamente. Os carbonos foram submetidos a uma etapa final de lavagem com solução aquosa de HCl 1,0 mol.L^{-1} . Esta propriedade é relevante quando estes carvões ativados são utilizados como adsorventes. (Bedia *et al.*, 2020).

4.3.6 Medida de área superficial específica e porosidade

As informações das isotermas de adsorção/dessorção foram medidos usando nitrogênio e estão mostradas nos Gráfico 11 e 12. A isoterma de adsorção foi utilizada para avaliar a quantidade de gás adsorvido em diferentes pressões relativas (P/P_0), sendo P a pressão de vapor do gás e P_0 a pressão de saturação do adsorvente (Sujiono *et al.*, 2022). O aspecto da isoterma de adsorção fornece informações qualitativas prévias em relação ao mecanismo de adsorção e na estrutura dos poros do carbono (Das; Samal; Meikap, 2015).

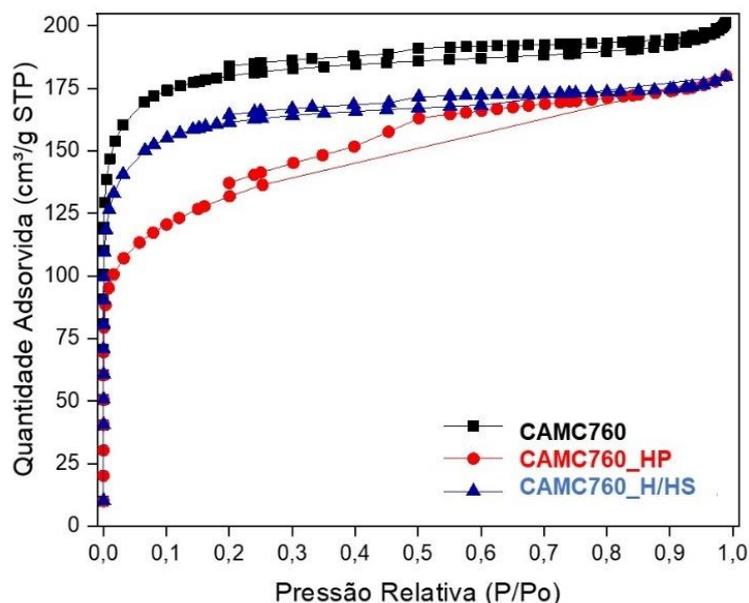
Observando os dados e comparando as isotermas de adsorção dos casos apresentados, percebemos diferentes valores de volume em um modelo de curva bastante semelhante. A isoterma de adsorção/dessorção de N_2 indicou uma elevada adsorção a baixas pressões de N_2 , revelando a formação de microporos (Gráficos 11 e 12). Podemos notar que pressões reativas abaixo de 0,2, demonstram formação de poros.

Gráfico 11 - Isotermas de adsorção/dessorção das amostras CACm, CMC600, CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS:



Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão com dados do LERQ/UFBA (Laboratório de Engenharia das Reações Químicas).

Gráfico 12 - Isotermas de adsorção/dessorção das amostras CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS:



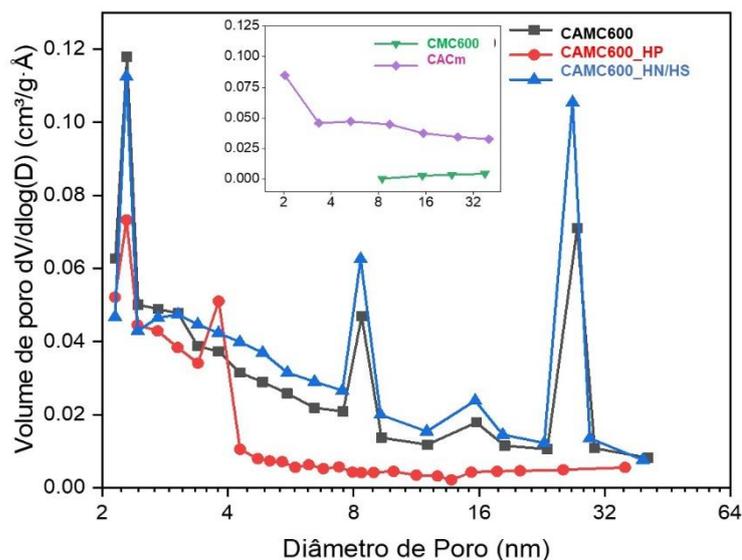
Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão com dados do LERQ/UFBA (Laboratório de Engenharia das Reações Químicas).

As amostras apresentaram características de isotermas de adsorção do tipo I e IV. A isoterma do tipo I (conforme a classificação da *International Union of Pure and Applied Chemistry-IUPAC*) tem a característica da adsorção em pequenas superfícies externas de materiais microporosos, dando forma a um processo adsorptivo em monocamada, já a isoterma de tipo IV, exibe estrutura mesoporosa do material, através da presença da histerese (Yorgun; Vural; Demiral, 2009 *apud* Das; Samal; Meikap, 2015; Mangueira, 2014 *apud* Sousa *et al.*, 2021). A histerese observada é do tipo H3 (poros com formato de cunha, cone ou placas paralelas), que indica um aporte para formação de mesoporos, mas existe a predominância de microporos (Guimarães, 2006; Andrade, 2014 *apud* Sousa *et al.*, 2021). Os Gráficos 13 e 14, corroboram que as amostras são constituídas, na maior parte, por microporos.

Os resultados mostraram uma distribuição de tamanho de poro com predominância de porosidade de micro a mesoporos, indicando a presença de poros com diâmetros na faixa de 2 a 50 nanômetros. Além disso, foi observada uma área superficial significativa, sugerindo uma superfície porosa extensa. A adsorção inicial em pressões relativas abaixo de 0,10 é ascendente, indicando que a maioria dos sítios de alta energia está sendo ocupada, isto é característico da adsorção em microporos. A adsorção continua a aumentar, mas a uma taxa mais baixa entre 0,10 e 0,90,

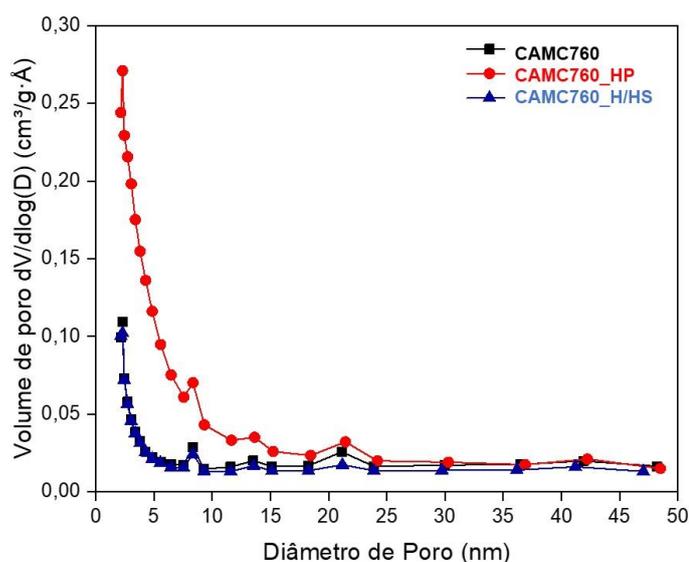
sugerindo a presença de mesoporos. Valores acima de 0,90, a adsorção aumenta significativamente, indicando preenchimento de mesoporos e possível condensação capilar.

Gráfico 13 - Distribuição do tamanho dos poros das amostras CACm, CMC600, CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS pelo método BET.



Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão com dados do LERQ/UFBA (Laboratório de Engenharia das Reações Químicas).

Gráfico 14 - Distribuição do tamanho dos poros das amostras CAMC760, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS pelo método BET.



Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão com dados do LERQ/UFBA (Laboratório de Engenharia das Reações Químicas).

Analisando o Gráfico 13 podemos perceber picos acentuados na região de micro e mesoporos em torno de 8 e 30nm nas amostras CAMC600 e CAMC600_HN/HS. Fato pode ser atestado quando comparado com o Gráfico 11, onde estas amostras apresentam uma histerese, revelando a presença de mesoporos em sua estrutura, já que a região da histerese da isoterma é grande quando compara as outras amostras. Já no Gráfico 14 verificamos que as amostras ativadas/funcionalizadas em 760°C estão na região de microporos.

Tabela 17 - Área superficial específica de microporos (S_{mic}), e por Brunauer-Emmet-Teller (S_{BET}), volume total de poro (V_t), volume de microporos (V_{mic}), diâmetro dos poros:

Amostras	S_{BET} ($m^2.g^{-1}$)	S_{mic} ($m^2.g^{-1}$)	V_t ($cm^3.g^{-1}$)	V_{mic} ($cm^3.g^{-1}$)
CACm	330	214	0,200	0,093
CMC600	93	79	0,044	0,035
CAMC600	301	223	0,161	0,100
CAMC600_PH	331	317	0,168	0,118
CAMC600_HN/HS	131	72	0,087	0,033
CAMC760	626	498	0,309	0,223
CAMC760_PH	457	444	0,277	0,096
CAMC760_HN/HS	560	423	0,276	0,189

Fonte: Compilação gráfica de Erlan Aragão com dados do LERQ/UFBA (Laboratório de Engenharia das Reações Químicas).

As propriedades texturais de todas as amostras trabalhadas estão dispostas na Tabela 17. Observa-se que o CMC600 possui uma área de $93m^2.g^{-1}$ e após a ativação sua área passa a apresentar $301m^2.g^{-1}$ (CAMC600600). Isto demonstra que o procedimento de ativação com a saída de substâncias voláteis promoveu a formação de microporos e o aumento de volume de poros, elevando, assim, a área superficial específica.

Os resultados da caracterização das amostras indicam que a amostra CAMC760 (Belle Chemical®), que foi ativada a uma temperatura de 760°C, apresentou a maior área de superfície ($626m^2.g^{-1}$). Mortley, Mellowes e Thomas (1988) relatam em seu artigo que a área da superfície de materiais carbonáceos aumenta

com o aumento da temperatura da carbonização e diminui a temperaturas mais altas. Isto pode ser confirmado quando comparamos os valores das áreas de superfícies do CAMC760, e a do CAMC600, carbonizado e ativado à temperatura de 600°C ($301\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$).

Observando os carvões ativos que foram funcionalizados, notamos que elas geraram alterações texturais nas amostras, atestada pelos valores obtidos de área específica, volume total de poros, volume de microporos e diâmetro de poros. Observa-se que a funcionalização não alterou a distribuição de tamanho de poros, mas apenas diminui o volume dos poros. Este resultado indica que os grupos funcionais podem estar preenchendo completamente alguns poros, ainda assim deixando livres outros.

Os resultados confirmam a presença de áreas com uma maior microporosidade para todas as amostras, sendo que a maior quantidade de poros se encontra até 20 Å, conforme os valores de diâmetros dos poros volume total apresentados na Tabela 17. Importante destacar que a atuação do carvão ativado e/ou carvão ativo funcionalizado está associado com a presença de poros, gerando uma área específica. Entretanto, deve-se considerar a superfície química. O carvão ativado/funcionalizado está invariavelmente conectado com a presença de heteroátomos, como o oxigênio, sendo quimicamente ligado à sua estrutura, e componentes inorgânicos (cinzas). Portanto, a funcionalização com H_2O_2 e $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ não pode alterar a estrutura dos carvões ativos, porém, as camadas de carbono da superfície podem reagir com os oxidantes a gerar diferentes grupos funcionais contendo oxigênio. Os tipos e o conteúdo dos grupos funcionais formados dependem do oxidante empregado (Chen; Chen; Ma, 2012).

4.3.7 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi empregada para comparar a morfologia física da superfície das amostras da biomassa, carvão, carvões ativados e carvões ativados funcionalizados. A Figura 27a e b ilustra a imagem da biomassa *in natura* (mesocarpo do *Cocos nucifera*), material de partida para a produção do carvão e carvão ativado. Podemos observar uma matriz compacta e sem a presença de poros.

A Figura 28a e b ilustra a biomassa após a carbonização (CMC600), na forma de carvão, e a Figura 29a e b exhibe a transformação do carvão em carvão ativado (CAMC600), após a ativação física. Estas imagens revelam as alterações proporcionadas pelos processos de pirólise e ativação da matriz, biomassa do coco-da-baía. Posteriormente ao procedimento de carbonização e ativação, podemos perceber as alterações na estrutura do precursor com a formação de poros.

Comparando as figuras que representam a carbonização (Figura 28) e a ativação (Figura 29), percebemos que a estrutura do CMC600 se apresenta quebradiça, com partículas irregulares distribuídas na superfície da fibra e os poros presentes. Na Figura 28, os poros estão obstruídos e podem ser descritos como poros rudimentares, o que não ocorre com os poros na superfície do material após a carbonização (Figura 29). Nestes, os poros estão “livres” e sua superfície é mais lisa. Existem algumas partículas finas na superfície destas amostras, em maior proporção no carvão, essas partículas podem ser provavelmente cinzas. Nas amostras que foram funcionalizadas, as partículas de cinzas não são visíveis. Podemos sugerir que as cinzas foram dissolvidas durante o processo de funcionalização.

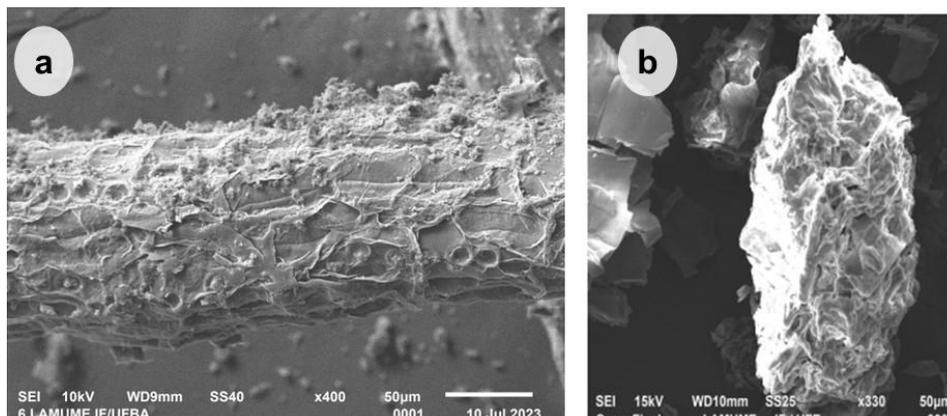
Na Figura 30 está a imagem do CAMC760, da marca Belle Chemical®. Notamos que ela possui uma imagem semelhante ao carvão ativado em laboratório (Figura 29). Os poros se apresentam desobstruídos.

O material de obstrução dos poros representa a umidade e o material volátil descrito na secção 4.3.1. Determinação do teor de umidade (TU), voláteis (TMV), cinzas (TCZ) e carbono fixo (CF) que, após o contínuo processo de aquecimento da ativação, fez com que os poros fossem desobstruídos. Bansal e Goyal descrevem em seu trabalho que os poros obstruídos podem ser devido à presença de materiais das decomposições formadas durante a carbonização, como, por exemplo, o alcatrão, mas também pode ser proveniente da desorganização carbônica (2005 *apud* Lima, 2014).

Confrontando as imagens do MEV entre os dois carvões ativados nas Figuras 29 e 30, CMC600 e CAMC760, respectivamente, percebemos que ambas apresentam uma morfologia de superfície irregular e heterogênea.

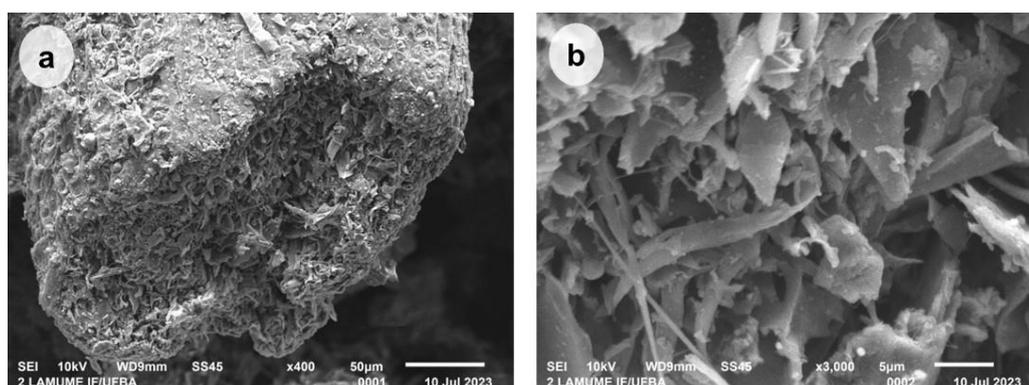
A estrutura porosa estruturada, o que corrobora com o valor elevado da área superficial apresentada através da análise de área superficial específica e porosidade das amostras.

Figura 27 – Imagem de MEV da amostra da biomassa (BMC), (a) 400x; (b) 300x.



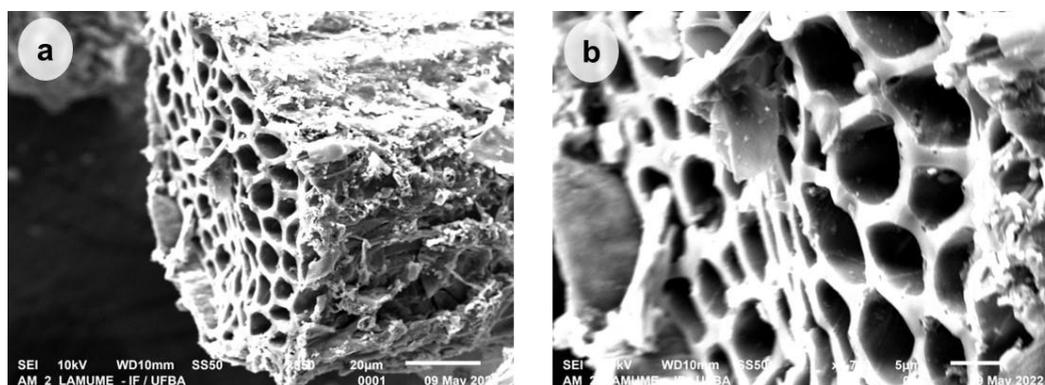
Fonte: (a) LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Jul., 2023, (b) Lima (2014, p. 65)

Figura 28 – Imagem de MEV da amostra do carvão (CMC600), (a) 400x; (b) 3 000x.



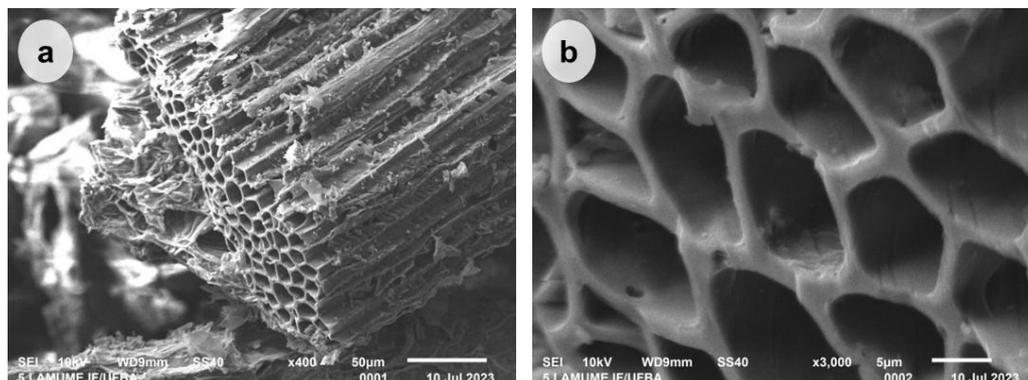
Fonte: LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Jul., 2023.

Figura 29 – Imagem de MEV da amostra do carvão ativado (CAMC600), (a) 950x; (b) 700x.



Fonte: LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Maio, 2022.

Figura 30 – Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC760), (a) 400x; (b) 3 000x.

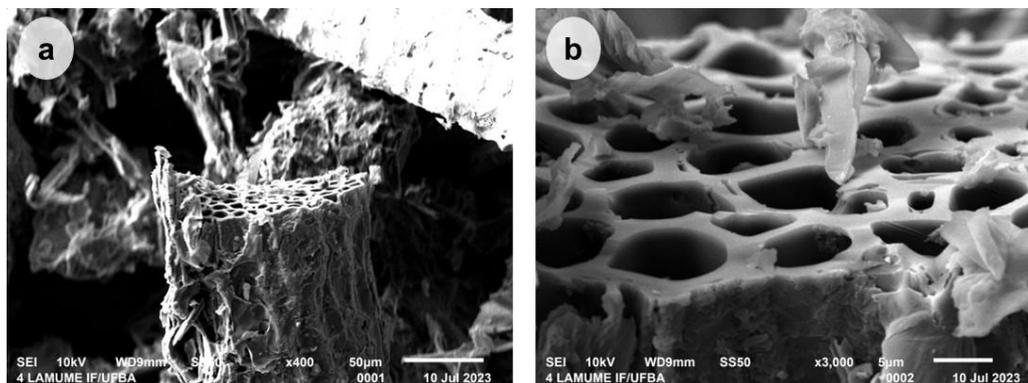


Fonte: LAMUNE /Inst. Física/ UFBA. Jul., 2023.

Li e coautores (2008 *apud* Budi *et al.*, 2016) explicaram em seu artigo que o processo de ativação é desenvolvido em três etapas: (1) abertura dos poros obstruídos; (2) criação de poros e (3) ampliação dos poros existentes. Entretanto, no artigo de Islam e colaboradores (2016 *apud* Khan *et al.*, 2023) eles especificam que quando os poros são ativados, eles passam por quatro estágios: (1) abertura de poros previamente fechados, (2) ativação seletiva para criação de novos poros, (3) alargamento de poros pré-existent e (4) fusão de poros existentes como resultado de quebra da parede dos poros. Nabais e colaboradores (2008 *apud* Budi *et al.*, 2016) descrevem que o agente químico penetra no carbono e forma pequenos poros, aumentando assim a área de superfície do carvão ativado. Uma superfície heterogênea será produzida devido à reação entre o ativador químico e a amostra.

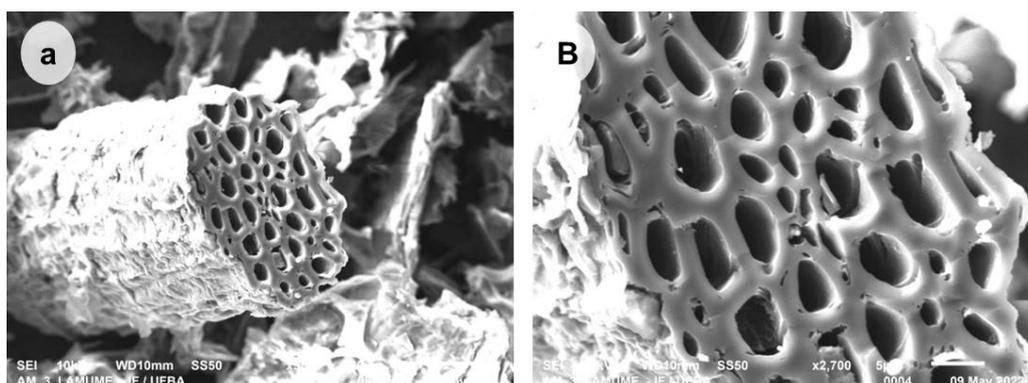
Explanando sobre os carvões ativados funcionalizados CAMC600_PH (Figura 31), CAMC600_HN/HS (Figura 32), CAMC760_PH (Figura 33) e CAMC760_HN/HS (Figura 34) e suas imagens geradas pelo MEV podemos descrever que suas morfologias das superfícies apresentam poros mais proeminentes e estruturas irregulares. Deng e coautores (2021) narram que os poros da estrutura em carbono modificado são mais complexos e mutáveis. Os poros presentes tanto nos carbonos sem modificações (funcionalizações) quanto nos modificados mostram-se principalmente na forma de elipses, e a maioria dos poros observados são macroporos.

Figura 31 – Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC600_PH), (a) 400x; (b) 3 000x.



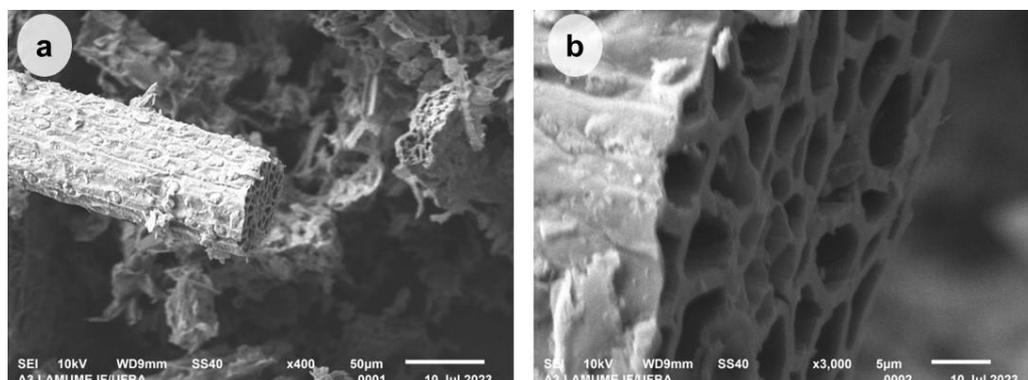
Fonte: LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Jul., 2023.

Figura 32 – Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC600_HN/HS), (a) 950x; (b) 2 700x.



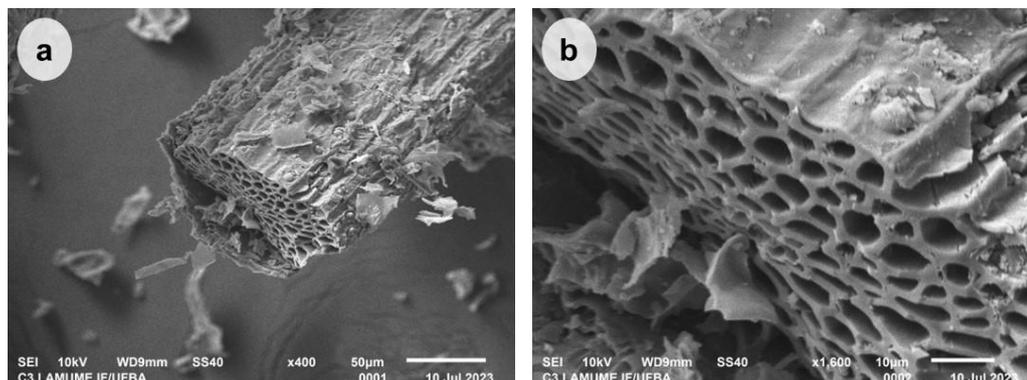
Fonte: LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Maio, 2022.

Figura 33 – Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC760_PH), (a) 400x; (b) 3 000x.



Fonte: LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Maio, 2022.

Figura 34 – Imagem de MEV da amostra do carvão ativado funcionalizado (CAMC760_HN/HS), (a) 400x; (b) 1 600x.



Fonte: LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Maio, 2022.

Para analisar as mudanças nos componentes elementares antes e depois da ativação das fibras de carbono, os espectros de energia dispersiva de raios X (EDS – do inglês *Energy-dispersive X-ray*) acoplados ao MEV estão dispostos nas Figuras 35a, b e c. Os resultados encontrados indicam que as fibras de carbono (Figura 35a) antes e depois da ativação (Figura 35b) contêm diferentes proporções de carbono, oxigênio e de alguns metais. As fibras de coco *in natura* apresentam altos níveis de carbono e oxigênio (Figura 35a). A presença destes elementos químicos no espectro de EDS corrobora com a análise elementar da seção 4.1.1 exposta na Tabela 13.

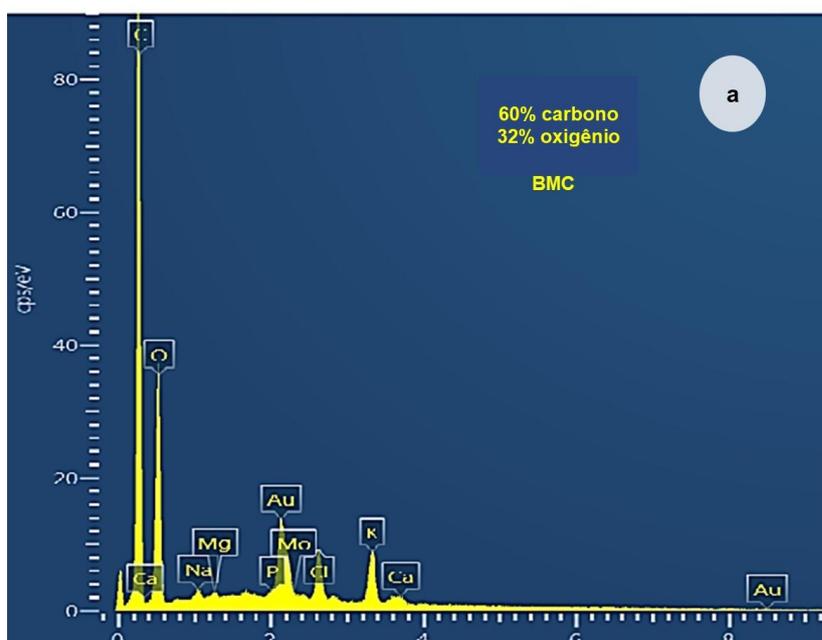
A proporção de oxigênio reduz após a ativação, o que pode ser devido à decomposição parcial do oxigênio por tratamento de alta temperatura durante a ativação e à dissolução e perda dos elementos metálicos durante a lavagem (Zhang *et al.*, 2018; Lima, 2014). Entretanto, a liberação de compostos voláteis ocasionou um aumento na porcentagem de carbono, que pode ser atribuída a maior grau de aromaticidade, gerando um aumento relativo do teor de carbono (Fierro *et al.*, 2006; Chattopadhyaya *et al.*, 2006 *apud* Lima, 2014).

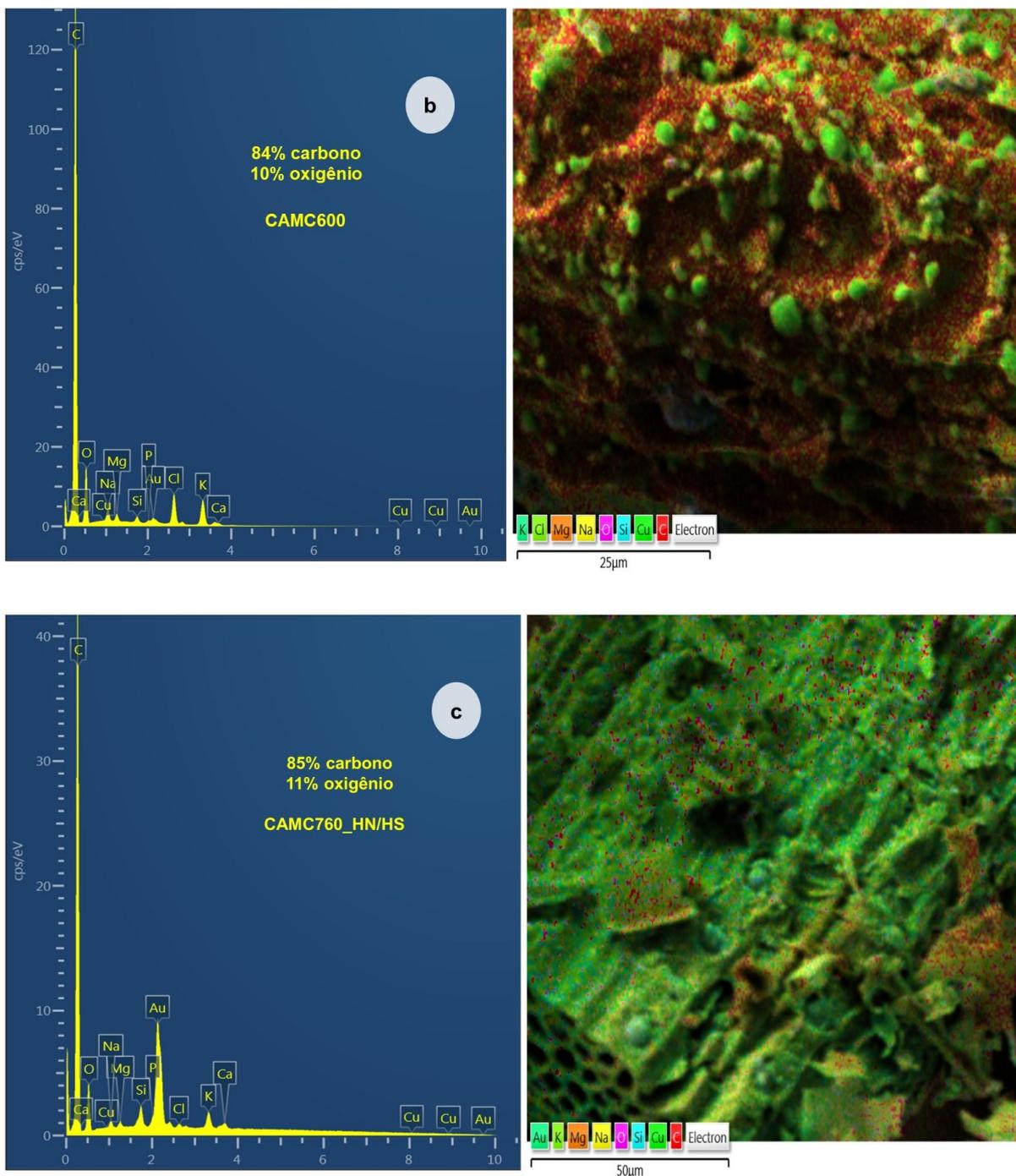
Moosavi e coautores (2020) referem-se que as características altamente porosas dos carvões ativados são repletas de cavidades (como a estrutura do favo de mel). Esses e micro e mesoporos dos carvões ativos participam como um papel principal da adsorção de poluentes (como corantes ou metais pesados, ou outros poluentes) nas águas residuais. Os resultados da literatura mostram que a alta porosidade e a alta área superficial são fatores muito importantes para alcançar alta

capacidade de adsorção. A concentração desses poros e a área da superfície podem ser aprimoradas usando métodos de ativação.

O espectro da energia dispersiva de raios X (EDS) de CAMC760_HN/HS (Figura 35c) revelou a presença de resíduos. Eles possivelmente são oriundos do agente precursor (biomassa), o que está em concordância com os resultados de difração de raios X. O ouro (Au), presente nos espectros, se deve à metalização com ouro durante a preparação das amostras, utilizado para ampliar a condutividade das amostras.

Figura 35 - Energia dispersiva de raios X (EDS) das amostras, biomassa *in natura*, BMC (a), amostra de carvão ativado CAMC600 (b) e a amostra de carvão ativado funcionalizado CAMC760_HN/HS (c).



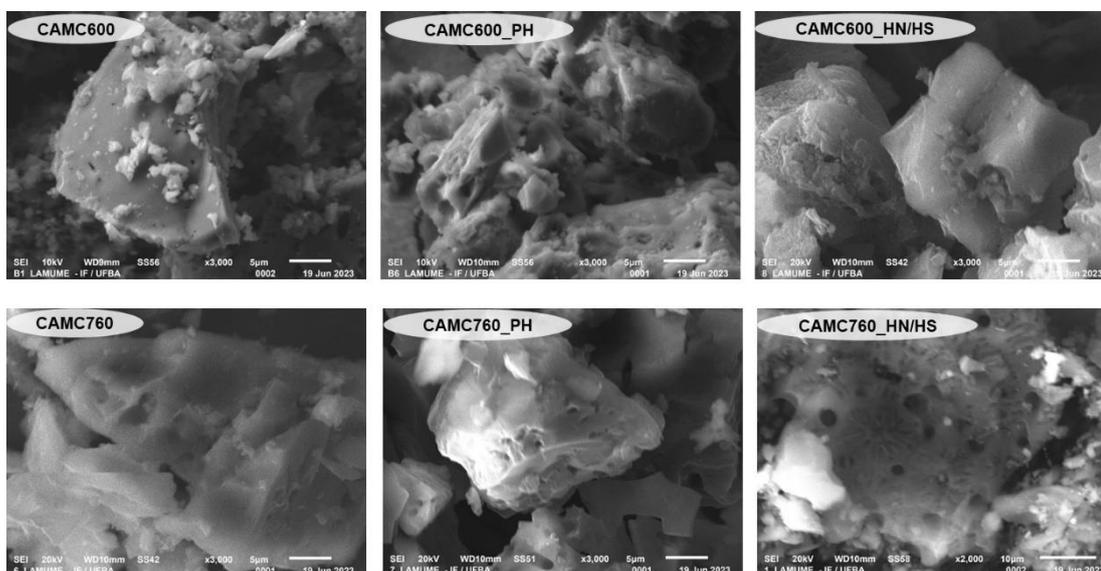


Fonte: (a) LIMA, 2014; (b e c) (CAMC600) LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Maio, 2023.

A morfologia superficial dos carvões ativos (CAMC600 e CAMC760) e carvões ativados funcionalizados (CAMC600_PH, CAMC600_HN/HS, CAMC760_PH e CAMC760_HN/HS) foi observada após adsorção das águas do rio Camarajipe (Figura 36). Após o processo de adsorção, conjuntos de partículas minúsculas ficaram aderidas nas superfícies destas amostras. Estas partículas foram aprisionadas pelo adsorvente, os poros desapareceram e a superfície tornou-se menos porosa e mais

compacta. Os adsorventes (carvões ativados e carvões ativados funcionalizados) foram saturados com diferentes poluentes encontrados nas águas do rio, produzindo uma morfologia de superfície, formando uma camada que cobre os poros, diferente das encontradas nas figuras antes da adsorção. Mostrando que houve adsorção de material poluente nas amostras.

Figura 36 – Imagem de MEV das amostras dos carvões ativos e carvões ativos funcionalizados após adsorção das águas do rio Camarajipe.



Fonte: (a) LAMUME /Inst. Física/ UFBA. Jul., 2023.

4.4 COLETA DA ÁGUA DO RIO CAMARAJIPE

As coletas das águas do rio Camarajipe foram realizadas no mês de março no ano de 2023. As fichas de monitoramento da qualidade das águas utilizadas durante o processo da coleta estão no Anexo A (Ficha de coleta rio Camarajipe). Os três pontos de coleta, denominados de (a), (b) e (c), estão descritos na Tabela 4 da seção 3.2.7. Na Figura 37 estão fotos do panorama das regiões onde foram efetuadas as coletas. Temos no ponto (a) a região da Avenida Antônio Carlos Magalhães (ACM), no (b) a região do bairro Barros Reis/Retiro e no (c) a região lateral da BR-3424, bairro Baixa do Camarajipe.

Figura 37 – Foto dos pontos de coleta, (a), (b) e (c) no rio Camarajipe.



Fonte: Davi, 2023.

Os estudos das amostras e suas análises seguiram o padrão de projeção de efluentes em corpos d'água no Brasil é estabelecido pelas Resoluções CONAMA N.º 357/2005, que estabelece que os efluentes apenas poderão ser lançados em corpos hídricos depois de um tratamento adequado (Silva *et al.*, 2019).

4.4.1 Características físico-químicas da água coletada *in loco*

A qualidade hídrica de corpos d'água pode ser acompanhada por análises físicas e químicas que identificam e quantificam parâmetros como: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade, entre outros. Para a caracterização físico-química e organoléptica da água coletada, *in loco*, no rio Camarajipe, foram utilizados os parâmetros estabelecidos na Tabela 18. Os demais parâmetros, como sólidos totais, fósforo total, detergentes, coliformes termotolerantes, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, entre outros, foram analisados em laboratório com o uso do *kit* para educação ambiental-monitoramento da água Ecokit (Alfakit®).

O *kit* para educação ambiental-Monitoramento da água Ecokit (Alfakit®) é uma técnica utilizado para realizar o controle da qualidade de água e amplamente utilizado pela Embrapa como uma metodologia simples, segura e de baixo custo. Devemos destacar que o Ecokit apresenta limitações em relação a alguns parâmetros em virtude de possuir escalas muito amplas.

Tabela 18 - Resultados dos parâmetros físico-químicos e organolépticos in loco da coleta:

Parâmetro físico-químicos e organolépticos	Ponto (a)	Ponto (b)**	Ponto (c)**	CONAMA N.º 352/2005 Água doce	
				Classe II	Classe VI
pH	7,33	7,35	7,12	6 - 9	6 - 9
Temperatura (°C)	27	28	29	NSA	NSA
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	7,79	7,52	7,38	> 5mg.L ⁻¹	> 2mg.L ⁻¹
Condutividade elétrica (µs.cm ⁻¹)	312	372	68	NSA	NSA
Total de sólidos dissolvido da água (mg.L ⁻¹)	156	191	136	500	NSA
Odor	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Espuma	Não	Não	Não	Não	Não
Material flutuante	Sim	Sim	Não	Não	Não
Cor	Verde	Marrom	Verde	Ausente	Ausente

*NSA (não se aplica).

**Os pontos (b) e (c) existiam presenças de casas no local da coleta.

Os resultados dos parâmetros avaliados foram comparados aos padrões de qualidade da água estabelecidos na Resolução CONAMA N.º 357/2005 de água doce, classe II e 4. A categoria classe II são águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional, já a classe 4 são águas que podem ser destinadas à navegação e à harmonia paisagística (Tabela 18). A Resolução CONAMA N.º 357, de março de 2005, descreve a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais no território nacional (BRASIL, 2005 *apud* Ferreira *et al.*, 2018).

O índice de pH nos corpos d'água irá sofrer influência de vários fatores, como matéria orgânica, rochas, ar, seres vivos presentes no ecossistema (Alves *et al.*, 2008 *apud* Cembranel *et al.*, 2019; Piveli; Kato, 2006 *apud* Ferreira *et al.*, 2018). A acidez ou alcalinidade serve como indicador da presença de íons solúveis na água. Uma amostra de água com pH ácido pode representar problemas de saúde aos seres humanos (Okonkwo; Eboatu, 2006 *apud* Ajala *et al.*, 2022). Entretanto, a presença pH ácido pode ser associada aos ácidos fúlvicos e húmicos, gerados pela decomposição de folhas e galhos, os quais contribuem para um baixo pH, tornando a água mais ácida. Isto ocorre na ausência de lançamento de efluentes (Libânio, 2018 *apud* Ferreira *et al.*, 2018). As amostras dos três pontos de coleta apresentaram pH próximo ao neutro e dentro da faixa da Resolução CONAMA N.º 357/05, na classe II de água doce.

A temperatura dos corpos d'água está relacionada com as características da água, como, por exemplo, a palatabilidade, solubilidade e odor (Apha, 2005 *apud* COMAN-Relatório Técnico N.º 05/2024). Temperaturas acima de 35°C podem comprometer o desenvolvimento de espécies animais ou culturas vegetais (Tundisi, 2008 *apud* CONAMA-Relatório Técnico N.º 05/2024). A elevação na temperatura pode acarretar o aumento da velocidade das reações físicas, químicas e biológicas, elevando a taxa de transferência dos gases, o que pode promover a liberação de odores desagradáveis, em um nível de poluição elevado (Piveli; Kato, 2006 *apud* Ferreira *et al.*, 2018). Dentre os valores obtidos neste trabalho, não foram observados valores consideravelmente divergentes, eles estão na faixa adequada, não acarretando alterações no ecossistema da água.

O oxigênio dissolvido (OD) é um dos parâmetros mais importantes para indicar a qualidade de um corpo hídrico, já que irá interferir na dinâmica, caracterização e manutenção da biodiversidade aquática (Esteves, 2011 *apud* CONAMA-Relatório Técnico N.º 05/2024). O OD é um fator para a existência de organismos aquáticos (Palanisamy *et al.*, 2007 *apud* Siakumr *et al.*, 2010). Os valores de oxigênio dissolvido presente nas amostras de água demonstraram pequena variação, ficaram na faixa de 7,79 – 7,38 mg.L⁻¹ de O₂ está conforme a resolução do CONAMA. O oxigênio dissolvido é necessário ao biosistema aquático para realizar trocas gasosas e manter o ecossistema ativo, já que é o principal elemento no metabolismo de microrganismos aeróbios. As concentrações de oxigênio podem estar associadas à temperatura, pressão e salinidade da água (Machado, 2006 *apud* Cembranel *et al.*, 2019). O parâmetro OD também pode estar associado às características hidráulicas do curso hídrico, sendo proporcional à sua velocidade (Piveli; Kato, 2006 *apud* Ferreira *et al.*, 2018).

A condutividade elétrica não é um parâmetro contemplado pela resolução CONAMA N.º 357/2005, mas é utilizada em análises de qualidade da água, devido à associação que possui com os sólidos totais dissolvidos (Bahia *et al.*, 2011 *apud* Cembranel *et al.*, 2019). A condutividade elétrica (EC) representa a capacidade do meio aquoso em conduzir corrente elétrica, presença de íons dissolvidos, os quais sofrem influência pela área geológica e pelo regime pluviométrico (Macedo, 2006 *apud* Cembranel *et al.*, 2019). Os valores do total de sólidos dissolvidos (TDS) estão diretamente relacionados ao conteúdo mineral, ou seja, à condutividade elétrica (Okonkwo *et al.*, 2007 *apud* Ajala *et al.*, 2022). Valores superiores 100µS.cm⁻¹ podem

indicar impactos ambientais (CETESB, 2009 *apud* Cembranel *et al.*, 2019). As amostras (a) e (b) apresentaram valores acima de $300\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, já a amostra (c) exibiu um valor de $68\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

No estudo de Toledo e Nicolella (2002 *apud* Cembranel *et al.*, 2019), eles avaliaram a qualidade da água em pontos com ocupação do solo e os resultados de condutividade elétrica variando entre $27\text{--}68,9\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo próximo do valor observado na amostra (c).

O total de sólidos dissolvidos (TDS) descreve a quantidade de sólidos não filtráveis, ou seja, é uma medida de materiais dissolvidos em uma determinada amostra de água (Ajala *et al.*, 2022). O total de sólidos dissolvidos (TDS) na água é dividido em três categorias: TDS $> 26\text{--}140\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de água potável contendo minerais inorgânicos, TDS $> 140\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de água potável comum, TDS $> 500\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ pode ser prejudicial à saúde (Rusydi, 2018). Analisando os valores encontrados nas amostras, podemos categorizar as amostras (a) e (b) como sendo água potável contendo sais minerais e a amostra (c) água potável comum, entretanto não podemos classificar as amostras apenas analisando um parâmetro.

Em relação aos parâmetros organolépticos observados durante a coleta das amostras, podemos notar que todas estão fora do padrão da resolução CONAMA N.º 357/2005.

4.4.2 Características físico-químicas da água após filtração

Nesta etapa do trabalho estão os resultados das análises físico-químicas das amostras da água coletada nos pontos (a), (b) e (c) após a filtração com carvão CMC600 (2), carvões ativados CACm (1), CAMC600 (3) e CAMC760 (6) e carvões ativados funcionalizados CAMC600_PH (4), CAMC760_PH (7), CAMC600_HN/HS (5) e CAMC760_HN/HS (8). As nomenclaturas utilizadas estão descritas na Tabela 5 da seção 3.2.7.1.

Os resultados logrados nos ensaios físico-químicos das amostras estudadas foram confrontados com a Resolução CONAMA N.º 357/2005 para águas destinadas ao consumo humano após tratamento (classe II de água doce) e aos resultados obtidos pelo COMON (Inema). Seguimos esta classificação seguindo a maioria dos artigos avaliados, mas segundo o COMON os rios foram classificados como classe II,

por não apresentarem um enquadramento aprovado, conforme art. 42 da Resolução CONAMA N.º 357/2005.

As Tabelas 22, 23 e 24 correspondem às propriedades físico-químicas da água coletada nos pontos (a), (b) e (c), respectivamente, e da água tratada, após filtração. As numerações que vão de 1 até 8 são referentes aos adsorventes utilizados na filtração (Tabela 19).

Tabela 19 - Relação dos filtros empregados nos ensaios de filtração.

Numeração dos filtros	Amostras
1	CACm
2	CMC600
3	CAMC600
4	CAMC600_PH
5	CAMC600_HN/HS
6	CAMC760
7	CAMC760_HP
8	CMC760_HN/HS

O adsorvente compensou o pH da água contaminada em um grau razoável após o tratamento, e os valores estavam na faixa padrão de 6 a 9 especificada pela Organização Mundial da Saúde e CONAMA. Entretanto, houve adsorventes (a2, a3 e a5) que ocasionaram uma alteração nesta faixa de pH. A presença de álcalis na água influencia a toxicidade dos poluentes inorgânicos (Okonkwo; Eboatu, 2006 *apud* Ajala *et al.*, 2022). A alcalinidade não é prejudicial aos seres humanos, entretanto, valores elevados de pH estão associados à dureza e excesso de sólidos dissolvidos (Okonkwo *et al.*, 2007 *apud* Ajala *et al.*, 2022).

O pH da água tem uma correlação na taxa de crescimento microbiano. O pH irá afetar a função das enzimas metabólicas. Condições ácidas ou básicas alteram a estrutura da enzima e podem interromper o crescimento microbiano. A maioria dos microrganismos mantém-se bem em uma faixa de pH de 6,5 - 8,5. No entanto, alguns sistemas enzimáticos podem tolerar pH extremo e prosperarão em ambientes ácidos (Patel; Vashi, 2015).

As concentrações de ferro e manganês quando estão acima do tolerado, podem causar escurecimento e gerar manchas pretas em roupas, encanamentos e pias (Okonkwo; Eboatu, 2006 *apud* Ajala *et al.*, 2022). Os valores de manganês observados nas amostras estavam acima dos limites toleráveis, entretanto seus valores foram reduzidos após a filtração. Já os valores da análise de ferro foram zerados após a filtração.

Compostos fenólicos podem ser encontrados em águas naturais da superfície e fontes industriais. Os fenóis no ambiente aquático podem surgir da degradação de substâncias naturais, atividades industriais e agrícolas. Estes compostos podem ser fatais aos seres humanos mesmo em baixa concentração. Sua presença produz cheiro e gosto desagradável mesmo em baixas concentrações (Patel; Vashi, 2015). Neste estudo a utilização dos adsorventes a base de composto orgânicos foram efetivos na eliminação de fenóis na água coletada (Tabela 22, 23 e 24). Entretanto, vários estudos buscam compreender os fatores que interferem a adsorção de fenol e seus derivados, o mecanismo ainda não é completamente compreendido (Dabrowski *et al.*, 2005 *apud* Nascimento Jr. *et al.*, 2016).

Na água natural, o íon sulfato está presente em quantidades apreciáveis, entretanto, em níveis elevados, pode ocasionar diarreia. Nos três pontos coletados, foram encontrados níveis de sulfato abaixo do permitido pelo CONAMA. A utilização do adsorvente não reduziu o nível de sulfato e alguns deles aumentaram a presença de sulfato na água após filtração (Tabela 23 e 24), fato que pode ter ocorrido devido a presença de microrganismos.

O sulfato é um dos ânions menos tóxicos. Águas com 300-400mg.L⁻¹ sulfato tem um sabor amargo e valores maiores que 1000mg.L⁻¹ pode causar transtorno intestinal. Os sulfatos são indiretamente responsáveis por problemas durante o manuseio e o tratamento das águas residuais, isto é, problemas de corrosão e de odor do esgoto resultante da redução de sulfatos para sulfeto de hidrogênio (H₂S) por bactérias anaeróbicas (Patel; Vashi, 2015).

O oxigênio dissolvido é um dos fatores importantes para a existência de organismos aquáticos na água. Ele é um regulador do processo metabólico da comunidade biótica (Sivakumar *et al.*, 2010). Na nossa análise, o conteúdo do oxigênio dissolvido foi drasticamente reduzido porque esta análise foi efetuada vários dias após a coleta, gerando uma diminuição nestes valores.

A amônia em meio básico predomina a espécie NH_3 de maior toxicidade que o íon amônia (NH_4^+). O NH_4^+ está presente em solução aquosa, comporta-se como uma base (Silva *et al.*, 2020 *apud* Texeira *et al.*, 2022). Nas amostras analisadas, o parâmetro amônia demonstrou resultados acima do determinado de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ NH_3 . A amônia é o poluente mais comum descartado nos cursos d'água. A descarga de amoníaco provém geralmente de águas residuais industriais, agrícolas e domésticas (Karri; Sahu; Chimmiri, 2018).

O ortofosfato estava acima do valor estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005 nas duas amostras coletadas no presente estudo. O fósforo está presente em águas naturais e em águas residuais, fósforo total. As formas mais comuns são ortofosfatos, polifosfato e fósforo orgânico. O fósforo total é um fator limitante para o desenvolvimento de algas e plantas no meio aquático (Libânio, 2008 *apud* Ferreira *et al.*, 2018). A presença de fosfato em excesso em águas doces indica poluição por esgotos e resíduos industriais. Embora o fosfato apresente problemas nas águas superficiais, a sua presença é necessária para a degradação biológica das águas residuais, porém em valores que não permitam a proliferação de microalgas produtoras de toxinas ou eutrofização (Patel; Vashi, 2015).

A decomposição biológica de matéria orgânica nitrogenada na água indica a presença de nitrato (NO_3) e nitrito (NO_2). A presença destas substâncias indica que a matéria orgânica nitrogenada está sofrendo oxidação ou nitrificação e que o processo não está completo. Em alguns casos, os nitratos também são reduzidos a nitritos (Sivakumar *et al.*, 2010). Os íons nitrato (NO_3^-) quando em alta concentração podem provocar a eutrofização nos corpos d'água (Bryan; Loscalzo, 2011 *apud* Fazeli; Balgeshiri; Alighardashi, 2016).

Neste estudo, as amostras apresentaram valores distintos em cada ponto de coleta. No ponto (a) e (c) as amostras filtradas sofreram um aumento do teor de nitrito/nitrato. No ponto (b), as amostras filtradas diminuíram os valores destas substâncias. Oliveira, Nogueira e Sartori (2014) afirmam em seu artigo que concentrações de nitrogênio e fósforo, podem estar correlacionadas à poluição proveniente de atividades domésticas e industriais. Ou seja, existe uma necessidade de análise destes compostos em sistemas fluviais para diagnósticos ambientais.

Analisando as concentrações dos íons nitrato (NO_3^-), fosfato (PO_4^{-3}) e sulfato (SO_4^{-2}) das amostras de água não tratada em comparação com amostras de água tratada, os resultados destes íons mostraram em sua maioria um aumento significativo

em suas concentrações. Os altos níveis desses ânions podem permitir o crescimento microbiano (Okonkwo *et al.*, 2007 *apud* Ajala *et al.*, 2022). Esta declaração pode ser comprovada com os resultados obtidos nas análises com o *Colipaper*® - Alfakit®.

Concentrações de cloreto acima de 250 mg.L⁻¹ na água pode causar corrosão no sistema de distribuição de água; produzir um paladar salgado e desagradável. A água pode ser imprópria para o banho, beber e para aplicações industriais (Okonkwo *et al.*, 2007 *apud* Ajala *et al.*, 2022). As amostras estudadas reduziram a concentração de cloreto na água tratada. A presença de cinzas nas amostras produzidas em laboratório (CMC600, CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS) podem ter interferido na redução dos íons cloreto.

A água dura pode não ter efeitos sobre a saúde, mas pode formar incrustações em caldeiras, aquecedores de água, canos e utensílios de cozinha (Okonkwo; Eboatu, 2006 *apud* Ajala *et al.*, 2022). A dureza da água nas amostras revelou alta concentração de sais dissolvidos de metais como cálcio, magnésio e ferro, importantes contribuintes para a dureza da água. Houve um erro nas análises da dureza com os testes Alfakit (nas amostras b e c). Foi efetuado a análise de total de sólidos dissolvidos com o equipamento TDS&EC meter (hold). Os valores obtidos estão na Tabela 20, abaixo.

Tabela 20 – Totais de sólidos dissolvidos (TDS) das amostras (a), (b) e (c), antes e pós-filtração:

Valores de TDS					
Amostra (a)	Concentração (mg.L ⁻¹)	Amostra (b)	Concentração (mg.L ⁻¹)	Amostra (c)	Concentração (mg.L ⁻¹)
a	148	b	174	c	191
a1	163	b1	197	c1	191
a2	170	b2	199	c2	201
a3	163	b3	199	c3	261
a4	118	b4	149	c4	191
a5	109	b5	162	c5	174
a6	152	b6	180	c6	191
a7	109	b7	162	c7	174
a8	106	b8	155	c8	188

Fonte: Equipamento TDS&EC meter (hold)

Também foi efetuado a análise de condutividade elétrica (EC) com as amostras dos três pontos de coleta, antes e após filtração (Tabela 21). Estudos mostraram que em águas residuais/poluídas existe um aumento da condutividade, ocasionado pelo

efeito direto da maior concentração de íons (Brigante; Espíndola, 2003; Gralhóz; Nogueira, 2006; Lussier *et al.*, 2008 *apud* Oliveira; Nogueira; Sartori, 2014). Foi percebido um aumento de condutividade em percursos de rios que atravessam áreas urbanas sem vegetação marginal (Ternus *et al.*, 2011 *apud* Oliveira; Nogueira; Sartori, 2014).

Tabela 21 – Condutividade elétrica (EC) das amostras (a), (b) e (c), antes e pós-filtração:

Valores de EC					
Amostra (a)	Concentração ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	Amostra (b)	Concentração ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	Amostra (c)	Concentração ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)
a	228	b	382	c	382
a1	220	b1	344	c1	344
a2	278	b2	320	c2	320
a3	208	b3	464	c3	464
a4	246	b4	382	c4	382
a5	208	b5	344	c5	344
a6	236	b6	390	c6	390
a7	194	b7	348	c7	348
a8	212	b8	380	c8	380

Fonte: Equipamento TDS&EC meter (hold)

Tabela 22 – Resultados das análises físico-químicas das amostras do ponto (a) antes e após utilização de adsorventes:

Análise físico-química	Padrões da Resolução CONAMA N.º 357/2005 Água doce – classe II								
	a	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8
pH Alfakit	8	7	10	10	6	4	8	6	6
Manganês (Mn) g.L ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fenol (C ₆ H ₆ O) mg.L ⁻¹	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfato (SO ₄) mg.L ⁻¹	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oxigênio dissolvido (O ₂) mg.L ⁻¹	> 5,0	3	1	1	4	3	3	1	1
Amônia (NH ₃) mg.L ⁻¹	1,5	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64
Nitrato (N-NO ₃) mg.L ⁻¹	10,0	0,7	1	1	1	0,1	0,5	0,5	0,5
Nitrito (N-NO ₂) mg.L ⁻¹	1,0	0,4	0,8	0,9	0,7	0,4	2	2	2
Nitrogênio mineral mg.L ⁻¹	---	4,74	5,44	5,54	5,34	4,14	6,14	6,14	6,14
Ortofosfato (PO ₄) mg.L ⁻¹	<0,03	2	2,5	2,5	2,5	2	1,75	1,5	1,5
Dureza total (CaCO ₃) mg.L ⁻¹	≤ 500	97	75	80	80	60	45	100	75
Cloretos (Cl ⁻) mg.L ⁻¹	250,0	69	50	112	120	58	60	52	53
Ferro livre (Fe) mg.L ⁻¹	0,3	0,5	0	0	0	0	0	0	0
Ferro II mg.L ⁻¹	---	0,25	0	0	0	0	0	0	0
Ferro III mg.L ⁻¹	---	0,25	0	0	0	0	0	0	0
Ferro total mg.L ⁻¹	---	0,25	0	0	0	0	0	0	0
Detergente mg.L ⁻¹	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Ecokit (Alfakit®)

Tabela 23 – Resultados das análises físico-químicas das amostras do ponto (b) antes e após utilização de adsorventes:

Análise físico-química	Padrões da Resolução CONAMA N.º 357/2005 Água doce – classe II									
	b	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	b8	
pH Alfakit	7	7	7	7	8	6	7	6	6	
Manganês (Mn) mg.L ⁻¹	0,5	0,25	0,25	0,25	0	0	0	0	0	
Fenol (C ₆ H ₆ O) mg.L ⁻¹	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sulfato (SO ₄) mg.L ⁻¹	10	10	10	15	15	15	10	10	10	
Oxigênio dissolvido (O ₂) mg.L ⁻¹	1	1	0	3	1	1	0	0	3	
Amônia (NH ₃) mg.L ⁻¹	1,5	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	3,64	
Nitrato (N-NO ₃) mg.L ⁻¹	10,0	0,1	0	0	0	0	0	0	2,5	
Nitrito(N-NO ₂) mg.L ⁻¹	1,0	0	0	0	0	0,1	0	0	0	
Nitrogênio mineral mg.L ⁻¹	---	3,74	3,64	3,64	3,64	3,74	3,64	3,64	6,14	
Ortofosfato (PO ₄) mg.L ⁻¹	<0,03	1,75	1,75	2	2	1,75	1,75	1	1,75	
Dureza total (CaCO ₃) mg.L ⁻¹	≤ 500	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cloretos (Cl ⁻) mg.L ⁻¹	250,0	133	128	128	128	120	120	125	122	
Ferro livre (Fe) mg.L ⁻¹	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ferro II mg.L ⁻¹	---	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ferro III mg.L ⁻¹	---	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ferro total mg.L ⁻¹	---	0	0	0	0	0	0	0	0	
Detergente mg.L ⁻¹	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: Ecolit (Alfakit®).

Tabela 24 – Resultados das análises físico-químicas das amostras do ponto (c) antes e após utilização de adsorventes:

Análise físico-química	Padrões da Resolução CONAMA N.º 357/2005 Água doce – classe II								Grupo experimental									
	c	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
pH Alfakit	6 - 9	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7
Manganês (Mn) mg.L ⁻¹	0,1	0,25	0	0,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fenol (C ₆ H ₆ O) mg.L ⁻¹	0,003	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfato (SO ₄) mg.L ⁻¹	250	10	10	10	15	15	15	15	15	15	10	10	10	10	10	10	10	10
Oxigênio dissolvido (O ₂) mg.L ⁻¹	> 5,0	1	3	3	3	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1	3	1	1
Amônia (NH ₃) mg.L ⁻¹	1,5	3,64	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Nitrato (N-NO ₃) mg.L ⁻¹	10,0	0,1	0,1	0,3	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrito(N-NO ₂) mg.L ⁻¹	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrogênio mineral mg.L ⁻¹	---	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84	3,84
Ortofosfato (PO ₄) mg.L ⁻¹	<0,03	2,5	2,5	2	2	0,7	2	2	2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Dureza total (CaCO ₃) mg.L ⁻¹	≤ 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cloretos (Cl ⁻) mg.L ⁻¹	250,0	132	130	150	145	112	120	120	120	120	130	130	125	125	125	125	125	125
Ferro livre (Fe) mg.L ⁻¹	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferro II mg.L ⁻¹	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferro III mg.L ⁻¹	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ferro total mg.L ⁻¹	---	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Detergente mg.L ⁻¹	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: Eokit (Alfakit®).

A Coordenação de Monitoramento de Recursos Ambientais e Hídricos (COMON) é um órgão do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Inema) que pertence ao Governo do Estado da Bahia e é responsável pelo monitoramento sistemático da qualidade da água em todo o estado. Para o desenvolvimento do monitoramento, são analisados diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

No rio Camarajipe, o Inema monitora dois (a e b) dos três pontos de coleta que foi estudado neste trabalho. No Quadro 2 estão expostos seis pontos de coletas, na Bacia do rio Camarajipe, efetuados pelo COMON/Inema, monitorados em 2023.

O relatório sobre a qualidade das águas dos rios urbanos, o COMON/Inema descreve que os trechos dos rios monitorados apresentaram qualidade da água como insatisfatória para os seus múltiplos usos. Relatam que desde o início da campanha de monitoramento em 2013, os corpos hídricos que compõem a rede de amostras, entre eles está o rio Camarajipe, não mudaram a baixa qualidade das suas águas, comprovando a necessidade de uma recuperação ambiental urgente nos rios de Salvador e Lauro de Freitas (COMON-Relatório Técnico N.º 05/2024).

Nos pontos CAM03 e CAM08 que correspondem respectivamente aos pontos (b) e (a) estudados neste trabalho. Podemos notar que os pontos apresentaram qualidade da água classificada entre “ruim” e “péssimo”, apontando o comprometimento ambiental desse corpo hídrico, a descrita condição pode estar diretamente associada ao lançamento de efluentes domésticos nestes corpos hídricos (COMON-Relatório Técnico N.º 05/2024). Similarmente, podemos constatar a qualidade comprometida da água na maioria dos pontos, corroborando os resultados encontrados no nosso trabalho.

Quadro 2 – Resultado de análise físico-química do rio Camarajipe/INEMA:

PARÂMETRO	Padrões da Resolução CONAMA n° 357/05, águas doces, classe 2.	Unidade	Bacia do Rio Camarajipe					
			CAM 02	CAM 03 *	CAM 05	CAM 07	CAM 08 **	CAM 09
Clorofila A	≤ 30	µg/L	5,26	2,91	2,27	2,36	2,91	1,18
Coliformes Termotolerantes	-	NMP/ 100mL	1,3x10 ^{^11}	1,6x10 ^{^12}	1,7x10 ^{^11}	3,5x10 ^{^11}	1,7x10 ^{^8}	1,7x10 ^{^8}
Condutividade	-	µS/ cm	756	726	663	575	686	658
D.B.O	≤ 5,0	mg/L	76	29	32	28	21	56
Fósforo Total	≤ 0,1 (lático)	mg P/L	2,39	2,39	2,25	1,13	2,2	2,08
Nitrogênio Amoniacal	≤ 3,7 para pH ≤ 7,5 ≤ 2 para 7,5 < pH ≤ 8,0 ≤ 1 para 8,0 < pH ≤ 8,5 ≤ 0,5 para pH > 8,5	mg N-NH ₄ /L	18,6	24,5	13,7	14,9	21,7	12,1
Nitrogênio Total	-	mg N/L	25,5	28,5	16	18	25	16,6
OD	≥ 5,0	mg/L	1,21	0,77	1,51	1,04	1,68	1,5
pH	6,0 a 9,0	-	7,07	7,25	6,88	7,15	7,14	6,98
Salinidade	≤ 0,5	%	0,40	0,40	0,30	0,30	0,30	0,30
Sólidos Totais	-	mg/L	482	355	380	296	324	378
Surfactantes	≤ 0,5	mg/L	4,77	8,34	3,48	2,44	2,56	4,35
Temperatura	-	°C	27,9	27,9	27,7	28,1	28,1	27,8
Turbidez	≤ 100,0	NTU	62,4	17,6	19,1	19,9	11,3	23,6
% Saturação de OD	-	%	13,9	9,4	19,5	13,01	20,7	18,2

Fonte: CONAMA-Relatório Técnico N.º 05/2024.

*CAM03=ponto (b).

**CAM08= ponto (a).

O Inema/COMON também utiliza o Índice do Estado Trófico (IET), elaborado por Carlson em 1977 e em 2004 passou por alterações feitas por Lamparelli. O IET determina o estado trófico dos corpos de águas por meio dos parâmetros de fósforo total e clorofila A. O estado trófico das águas pode alternar entre ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico (Lamparelli, 2004 *apud* CONAMA-Relatório Técnico N.º 05/2024). O uso deste índice de qualidade da água tem crescido, já que possui vantagens em sua aplicabilidade ao transmitir informações sobre o grau de poluição de corpos d'água (Benetti; Bidone, 2009 *apud* Ferreira et al., 2017).

O processo de eutrofização de um ambiente aquático pode ser caracterizado em níveis de estado trófico (Quadro 3).

Quadro 3 - Índice do Estado Trófico (IET) e sua classificação:

Categoria de Estado Trófico	Valor do IET	Significado
Ultraoligotrófico	IET = 47	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa, não acarretam em prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	47 < IET = 52	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, não há interferências indesejáveis sobre os usos da água.
Mesotrófico	52 < IET = 59	Corpos d'água com produtividade intermediária, possíveis implicações sobre a qualidade da água.
Eutrófico	59 < IET = 63	Corpos d'água com alta produtividade, afetados por atividades antrópicas, com alterações indesejáveis na qualidade da água
Supereutrófico	63 < IET = 67	Corpos d'água com alta produtividade, afetados por atividades antrópicas, com alterações indesejáveis na qualidade da água
Hipereutrófico	IET = 67	Corpos d'água afetados pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com consequências indesejáveis para seus usos múltiplos.

Fonte: Ferreira *et al.*(2017, p. 17).

No Quadro 4 estão os IET de oito pontos de monitoramento na Bacia do rio Camarajipe pelo Inema/COMON no período de 2013 até 2023. Estão em destaque os pontos CAM03 e CAM08, que correspondem aos pontos (a) e (b) deste estudo.

Examinando os IET podemos notar que a maioria dos trechos pode ser classificados como hipereutrófico (crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas não permitindo a circulação de oxigênio suficiente na água), entre eles estão os pontos CAM03 e CAM08. Os trechos amostrados neste relatório apresentaram grau elevado de eutrofização. Na última amostragem, ocorrida em 2023, notamos que os dois

pontos estudados passaram de hipertrófico para supereutrófico, o fato pode ter ocorrido pelas precipitações (chuvas). Oliveira, Nogueira e Sartori (2014) relataram em seu artigo, sobre rios no estado de São Paulo, que em períodos de chuva intensa os valores de condutividade elétrica, turbidez e material em suspensão foram maiores, ao mesmo tempo que a concentração de clorofila diminuiu

Devemos destacar que o processo de eutrofização impulsiona mudanças drásticas nos ecossistemas aquáticos, que dificilmente serão reduzidos (Oliveira; Nogueira; Sartori, 2014).

Quadro 4 - Resultados de IET na bacia do rio Camarajipe no período de 2013-2023:

Campanha	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CAM 01	72	63	81	82	70	64	73	67	82	72	
CAM 02	58	66	68	59	68	70	67	73	69	56	69
→ * CAM 03	59	66	72	60	70	70	64	74	65	56	67
CAM 04	57	70	72	59	71	71	61	75	64	56	
CAM 05	66								72	55	66
CAM 07		23	70	58	71	70	65	76	71	58	64
→ **CAM 08		66	68	62	72	69	59	74	70	57	67
CAM 09										58	63

Ultraoligotrófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Supereutrófico	Hipereutrófico
IET ≤ 47	47 < IET ≤ 52	52 < IET ≤ 59	59 < IET ≤ 63	63 < IET ≤ 67	IET > 67

Fonte: CONAMA-Relatório Técnico N.º 05/2024.

*CAM03=ponto (b).

**CAM08=ponto (a).

4.4.3 Análise microbiológica da água coletada

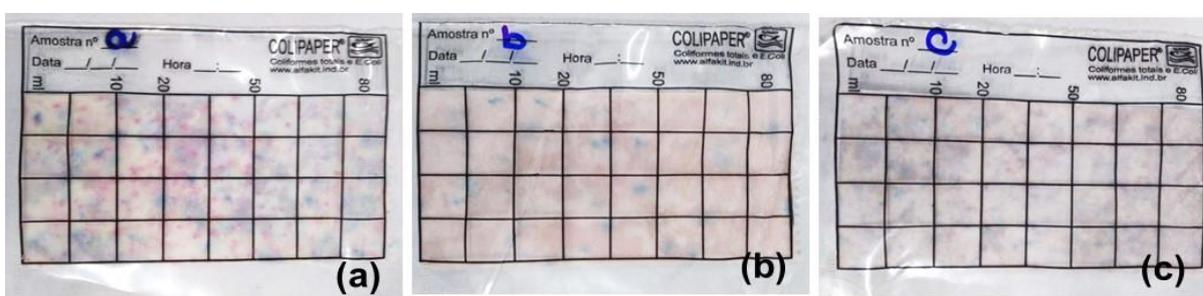
A análise microbiológica foi executada com a utilização do *kit Colipaper*® da empresa Alfakit®. Estas cartelas (*Colipaper*®) são utilizadas para análise microbiológica e indicam a presença de *Escherichia coli* e coliformes totais.

O monitoramento da água utiliza microrganismos patogênicos para serem usados como indicadores. Os coliformes totais e *Escherichia coli* têm sido utilizados como indicadores de qualidade da água em todo o mundo (Gleeson; Gray, 1996; World Health Organization, 2011 *apud* Invik *et al.*, 2017). A Organização Mundial da Saúde recomenda a utilização da *E. coli* como um “parâmetro essencial” de monitoramento

mínimo da água. Ou seja, a presença destas bactérias nas águas significa emissão direta, sem tratamento, de esgoto doméstico nos corpos d'água.

Para a análise das águas coletadas no rio Camarajipe, foram utilizadas três cartelas *Colipaper*®, uma para cada ponto de coleta. Após 18 horas em uma estufa a uma temperatura de 37°C as cartelas foram verificadas para a interpretação dos resultados (Figura 38).

Figura 38 - Nível de contaminação microbiana das águas do rio Camarajipe nos pontos (a), (b) e (c) Utilização do sistema *Colipaper*® - Alfakit®.



Fonte: Sobral, 2023.

**E. Coli*: pontos violeta a azuis.

**Coliformes totais: pontos violeta a azul e rósea a vermelho.

Observando o nível de contaminação nas placas, podemos notar que houve um aumento nas colônias dos microrganismos do ponto de coleta (a) > (b) > (c). A explicação pode ser devido ao percurso do rio Camarajipe, isto porque o ponto de coleta (a) recebe a junção das águas do afluente, o rio das Tripas, que também está passando por um processo de degradação (Figura 39). A mistura destas águas pode ter aumentado o fator de contaminação por microrganismos. Os pontos (b) e (c) possuem graus de contaminação próximos, e estes pontos passam por áreas povoadas, casas que circundam o rio, e esgotos domésticos são lançados diretamente no rio, aumentando a sua contaminação.

Figura 39 – Foto do rio das Tripas, afluente do rio Camarajipe.



Fonte: Panorama Metropole (<https://panoramametropole.blogspot.com/2013/03/rio-das-tripas.html>).

Foram efetuadas as análises microbiológicas com a utilização do *kit Colipaper®* com as amostras de água dos pontos (a), (b) e (c) após o tratamento de filtração com o carvão CMC600 (2), carvões ativados CACm (1), CAMC600 (3) e CAMC760 (6) e carvões ativados funcionalizados CAMC600_PH (4), CAMC760_PH (7), CAMC600_HN/HS (5) e CAMC760_HN/HS (8). As nomenclaturas utilizadas estão descritas na Tabela 5 da seção 3.2.7.1. Os resultados processados das amostras estão nas Figuras 40, 41 e 42.

Os resultados mostraram que, das 24 amostras estudadas com os carbonáceos, apenas duas amostras (b8 e c1) não apresentaram contaminação por *Escherichia coli*. As outras amostras exibiram contaminação de coliformes totais e *Escherichia coli*. Isto pode ser justificado porque os microrganismos presentes em efluentes pode sofrer interferência por muitos fatores, por exemplo, a turbidez e a existência de sólidos. Eles ficam agregados em partículas sólidas presentes nas águas que os resguardam de condições que os inativem (Schwartzbrod, 1985; Gonçalves, 2006 *apud* Silva *et al.*, 2015).

Estudos mostraram que a presença de microrganismo irá sofrer influência do clima. Períodos chuvosos foram associados a altos índices de presença bacteriana (Noble; Fuhrman, 2001; Jiang; Chu; He, 2007; Espinoza *et al.*, 2009 *apud* Silva *et al.*, 2015).

Melhern *et al.* (2021) declaram que filtros de carvões ativados não foram projetados para remover contaminantes microbianos. Ele ainda alerta que, ainda que seu uso seja generalizado, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e a

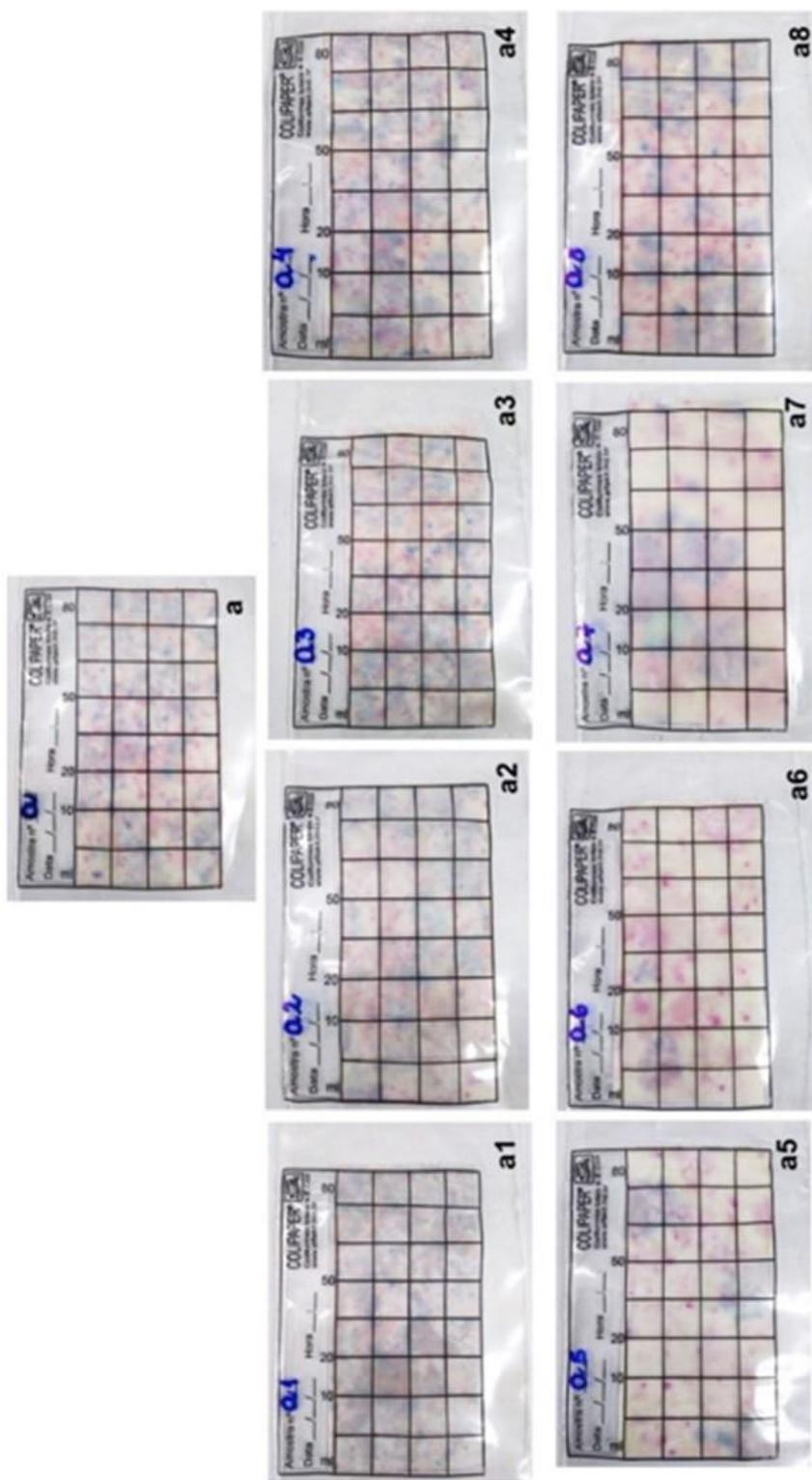
Organização Mundial da Saúde recomendam que os filtros não sejam usados com água de qualidade microbiológica ruim ou desconhecida.

O carvão ativado é extensivamente utilizado no tratamento de água potável para remover sabores e odores desagradáveis. Evita a formação de trihalometanos (poluentes ambientais, e muitos são considerados cancerígenos) (Hobbie; Daley; Jasper, 1977; Parson; Wood; DeMarco, 1980; Reasoner; Geldreich, 1985; Weber; Pirbazari; Melson, 1978 *apud* Camper *et al.*, 1986). O carvão ativado granular mostra-se eficaz na adsorção de uma gama de compostos orgânicos, alguns dos quais são utilizados como nutrientes para o crescimento bacteriano (Schalekamp, 1979; Culp, 1969; Cairo; McElhaney; Suffet, 1979; Brewer; Carmichael, 1979; Weber; Pirbazari; Melson, 1978 *apud* Camper *et al.*, 1986).

Um estudo realizado por LeChevallier, Hassenauer, Camper, McFeters em 1984 indica que bactérias anexadas ao carvão ativado granular são resistentes à cloração (*apud* Camper *et al.*, 1986). A presença de bactérias heterotróficas, que colonizam o meio filtrante, pode fornecer um efeito protetor contra a colonização por patógenos entéricos, embora os filtros não foram protetores contra colifagos e patógenos oportunistas (Melhern *et al.*, 2021).

De acordo com Oliveira *et al* (2029) quando os carvões ativados estão na presença de íons de prata, eles exercem um efeito bacteriostático seletivo. O efeito ocorria sobre as bactérias coliformes, entretanto exerceu pouco efeito sobre a população bacteriana total. Ou seja, os coliformes totais, indicadores primários da qualidade da água potável, foram inativados, enquanto um segmento importante das bactérias originárias da água não foi afetado (*Health and Welfare Canada*, 1979; *U.S. Environmental Protection Agency*. 1976 *apud* Tobin; Smith; Lindsay, 1981).

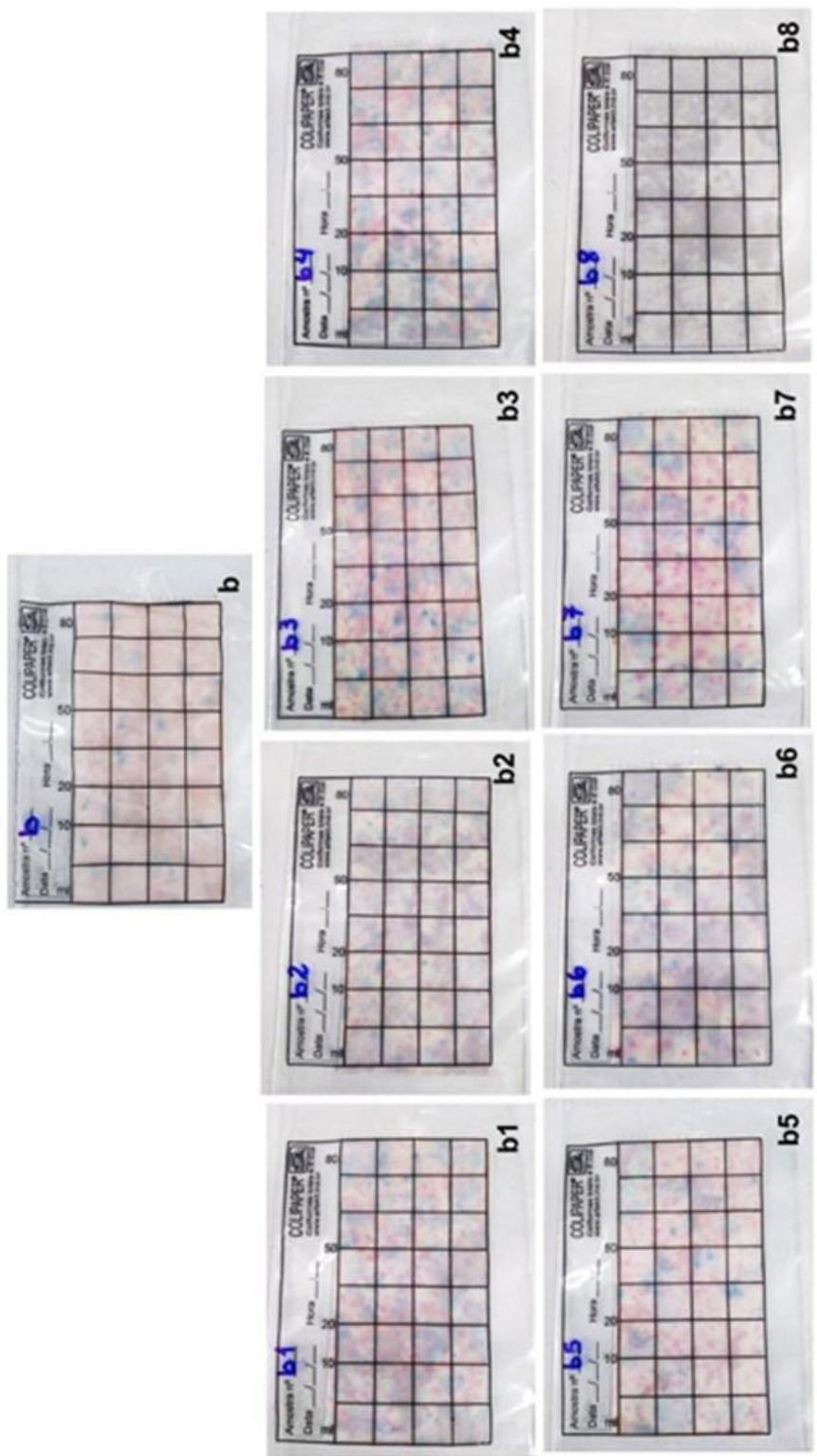
Figura 40 - Nível de contaminação microbiana das águas do rio Camarajipe no ponto (a). Utilização do sistema Colipaper® - Alfakit®.



Ponto (a) – Rio Camarajipe

Fonte: Sobral, 2023.

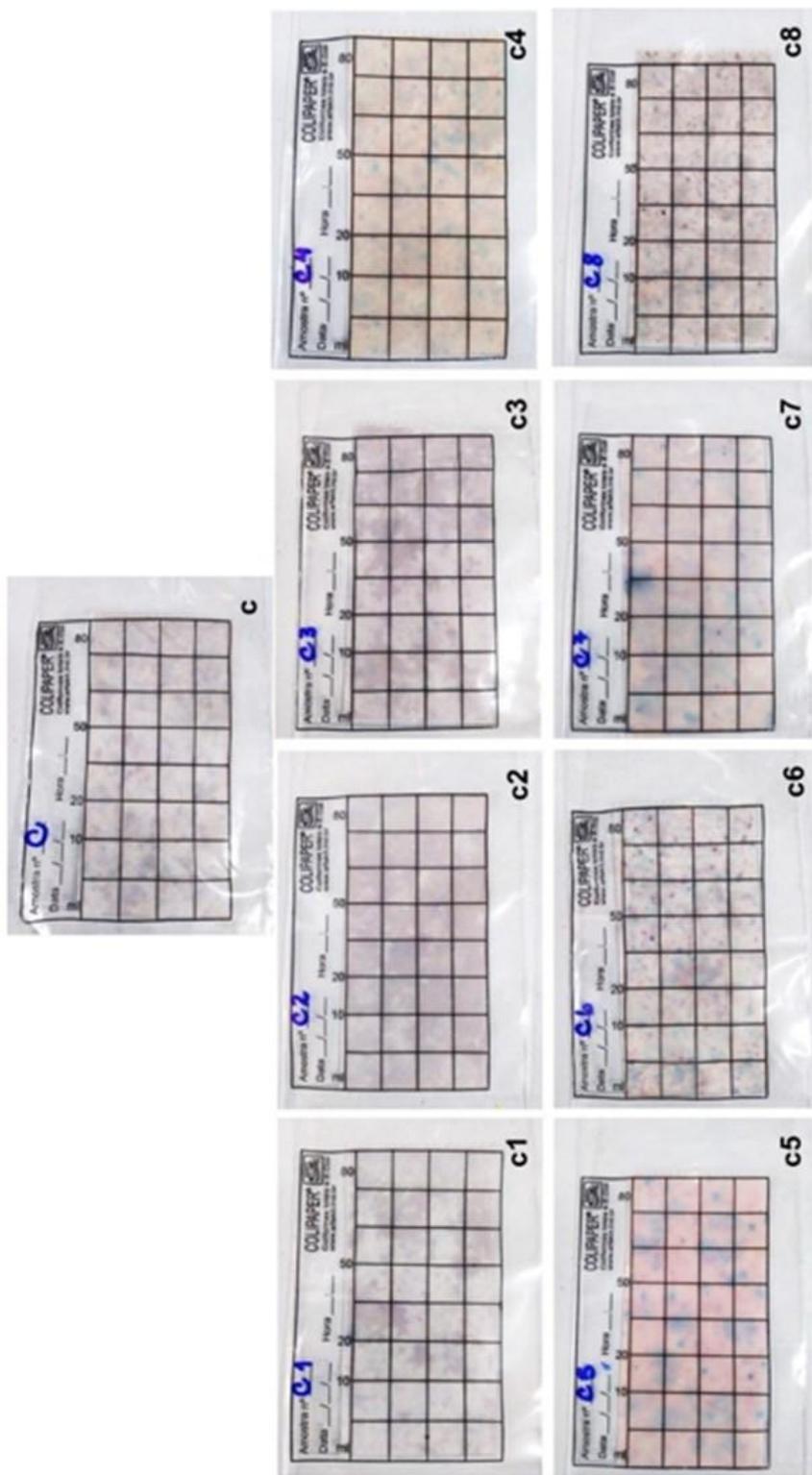
Figura 41 - Nível de contaminação microbiana das águas do rio Camarajipe no ponto (b). Utilização do sistema Colipaper® - Alfakit®.



Ponto (b) – Rio Camarajipe

Fonte: Sobral, 2023.

Figura 42 - Nível de contaminação microbiana das águas do rio Camarajipe no ponto (c). Utilização do sistema Colipaper® - Alfakiti®.



Ponto (c) – Rio Camarajipe

Fonte: Sobral, 2023.

4.4.4 Bioensaio com *Artemia salina*

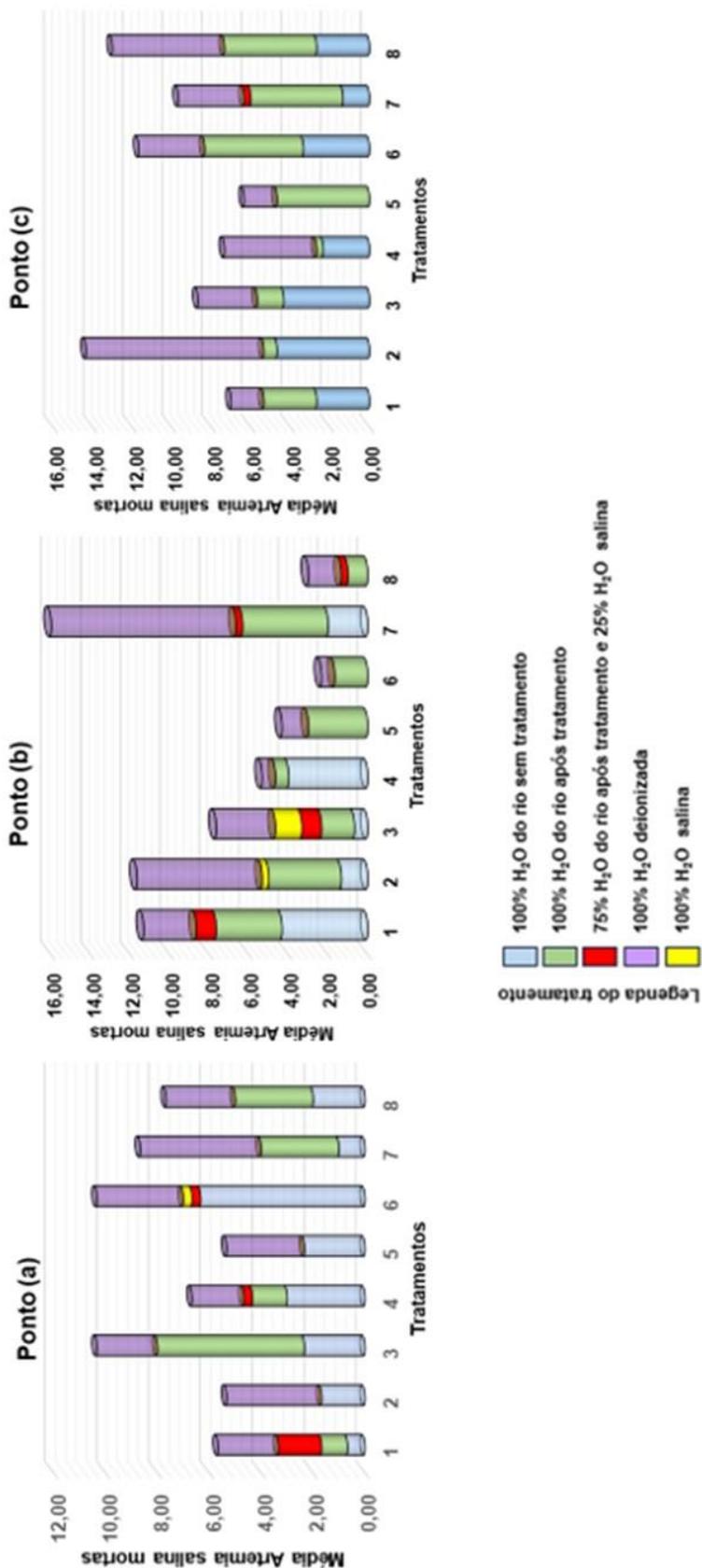
A utilização da *Artemia salina* como bioindicador está na Resolução N.º 396/2008, art.13º, inciso VI, que se refere à utilização de testes de toxicidade empregados para determinar a qualidade de um manancial, uma vez que estas análises auxiliam na avaliação da qualidade do recurso.

Os valores médios de indivíduos mortos em função dos diferentes tratamentos estão no Gráfico 15. Os controles deste bioensaio foram a água salina e a água deionizada. Houve aumento na taxa de mortalidade dos indivíduos no grupo de controle com a água deionizada, presumivelmente pela ausência de sais na água. Patel e colaboradores (2018 *apud* Igarashi, 2021) afirmam que a *A. salina* pode ser encontrada em ambientes marinhos e possui características para tolerar e desenvolver em água salgada.

A segunda maior média de mortalidade do microcrustáceo ocorreu com a água do rio Camarajipe sem tratamento (sem a filtração). Comprovando a toxicidade aguda destas amostras, e confirmando que as amostras possuem características distantes das necessárias para a sobrevivência do bioindicador. No estudo de Thode Filho *et al.* (2017), eles citam vários pesquisadores que sugerem a toxicidade no bioensaio com *A. salina* devido à presença de ferro, manganês, alumínio e zinco, além da presença de altas concentrações de sulfato. O que pode ser comprovado já que a menor média de morte dos microcrustáceos ocorreu na água do rio após tratamento com a adição de 25% de água salina. Durante a filtração da água do rio, a concentração de alguns destes metais e o sulfato foram eliminadas ou reduzidas, como foi apresentado na secção 4.4.2 nas Tabelas 22, 23 e 24.

Fernandes e Gonçalves (2016 *apud* Igarashi, 2021) descreveram a *A. salina* como um microcrustáceo importante biologicamente, uma vez que ele possui capacidade de reduzir as partículas poluidoras flutuantes, sobreviver em alta salinidade, além de ser usado em pesquisa nas áreas de biologia molecular, ecologia, toxicologia, fisiologia e genética.

Gráficos 15 – Bioensaio com o bioindicador *Artemia salina* em amostras dos pontos (a), (b) e (c):

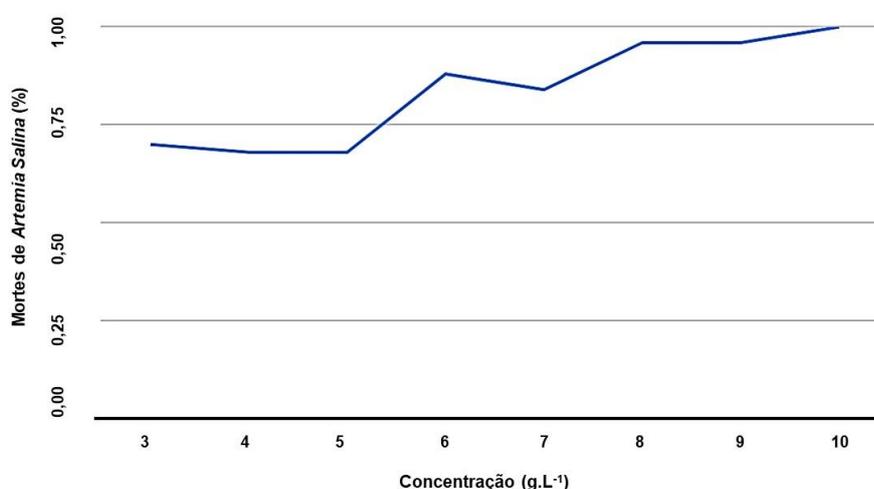


Fonte: Sobral, 2023.

4.4.5 Bioensaio com *Artemia salina* com azul de metileno

Neste bioensaio foi utilizado o corante azul de metileno ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) para observar o grau de toxicidade desta substância em água frente a utilização da *Artemia salina*. No Gráfico 16 estão expostos à mortalidade dos microcrustáceos em relação à concentração da solução de azul de metileno.

Gráfico 16 - Relação entre concentração da solução de azul de metileno e taxa de mortalidade da *Artemia salina*:



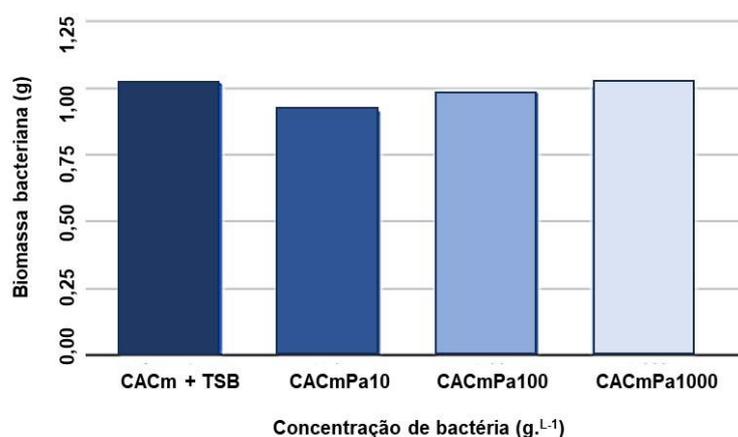
Ponderando os valores obtidos no gráfico, percebemos que houve um aumento da morte do bioindicador com o aumento da concentração da solução contendo azul de metileno, o que era esperado, uma vez que, na ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ) ela é descrita como substância nociva (substância que gera danos ao corpo em grandes quantidades) a saúde. Oladaywe *et al.* (2022) citando a toxicidade da substância, ele descreve que doses superiores a $5mg.kg^{-1}$ do corante pode induzir toxicidade serotoninérgica letal em humanos, além de ocasionar prejuízos à fauna do ecossistema aquático.

Alguns estudos relatam que o azul de metileno possui alguns efeitos medicinais, isto quando é usado com segurança conforme clinicamente prescrito [10], ao contrário quando a ingestão ocorre via água contaminada (Prashant; Jyothi, 2010 *apud* Oladaywe *et al.*, 2022).

4.4.6 Imobilização com bactéria em carvão ativado

Nesta etapa do trabalho os ensaios experimentais para determinar as condições para adesão da *Pseudomona aeruginosa*. No Gráfico 17 estão os valores das massas obtidas após a imobilização da suspensão da bactéria no carvão ativado (CACm). Os códigos utilizados estão descritos na secção 3.2.8 da Tabela 7.

Gráfico 17 – Valores da biomassa bacteriana encontradas após experimento de imobilização:



Considerando os valores presentes no gráfico, notamos um aumento gradual da biomassa bacteriana com o aumento da carga bacteriana. Ao fim do experimento a concentração de 1/1000 de bactéria (*P. aeruginosa*) foi a que expôs a maior massa da biomassa bacteriana. Este fato pode ter ocorrido porque *P. aeruginosa* é identificado como um colonizador, apto para sobreviver em água em condições ambientais precárias (oligotrofia, faixas diversas de pH, altas e baixas temperaturas) (Omran; Tseng; Baaek, 2024).

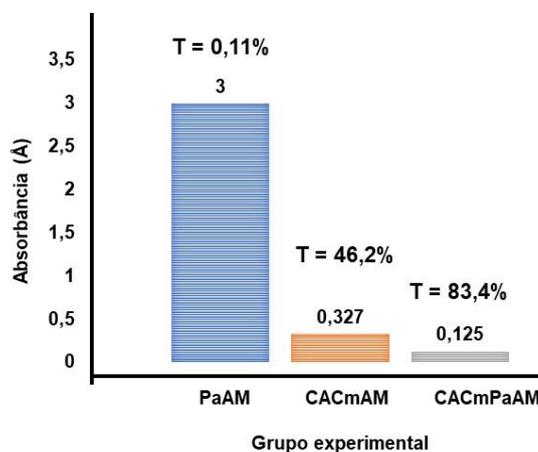
4.4.7 Adsorção do carvão ativado e imobilizado com *Pseudomonas aeruginosa*

Como foi descrito na secção 3.2.8.2 este experimento, foi efetuado em duas etapas (testes), sendo o Teste 1 (T1) com o CACm, que gerou um protocolo do procedimento experimental utilizado no Teste 2 (T2). O T2 foi realizado com as amostras CACm, CAMC600, CAMC600_PH e CAMCA600_HN/HS.

4.4.7.1 Teste 1 – Realizado com carvão ativado comercial

Podemos constatar no Gráfico 18 a análise experimental do comportamento da solução de azul de metileno frente a diferentes grupos experimentais. Observamos valores de absorbância (\AA) e transmitância (T) distintos.

Gráfico 18 – Descoloração do azul de metileno em função de diferentes grupos experimentais em valores de absorbância e transmitância:



Legenda:

T = Transmitância

PaAM = *P. aeruginosa* + azul de metileno

CACmAM = Carvão ativado comercial + azul de metileno

CACmPaAM = Carvão ativado comercial + *P. aeruginosa* + azul de metileno

Notamos que o grupo formado apenas pela *P. aeruginosa* (PaAM) foi o que sofreu menor descoloração, com transmitância de 0,11% e absorvância três. Os grupos formados pelo carvão ativo (T=46,2%) e o grupo carvão ativo e bactéria (T=83,4%) mostraram-se efetivos na descoloração do corante.

Segundo Jafaria, Soudib e Kasra-Kermanshahi (2014 *apud* Jamee; Siddique, 2019) as bactérias descoloram os corantes sob condições anaeróbicas e aeróbicas. Entretanto, as que operam sob condições anaeróbicas, as atividades da enzima redutiva são mais altas em condições anóxicas, que quebram a estrutura dos corantes sintéticos. O oxigênio dissolvido é considerado um inibidor de corantes azo, no processo de redução, já que ambas atuam como aceitadores de elétrons e o oxigênio é considerado um oxidante mais forte.

No entanto, era esperado que o grupo formado pelo carvão ativo manifestaria um bom desempenho como adsorvente, os carvões ativados, compostos por inúmeros tipos de biomassa, são amplamente utilizados. Os materiais carbonáceos, exibem uma alta área de superfície específica, com uma ampla distribuição de tamanho de poro, assim como, uma profusa variedade de grupos funcionais. Estas características dão aos carvões ativados uma capacidade de adsorver uma gama de moléculas (Masoumi; Dalai, 2020; Pallarés; Araúzo, 2018 *apud* Sousa *et al.*, 2021).

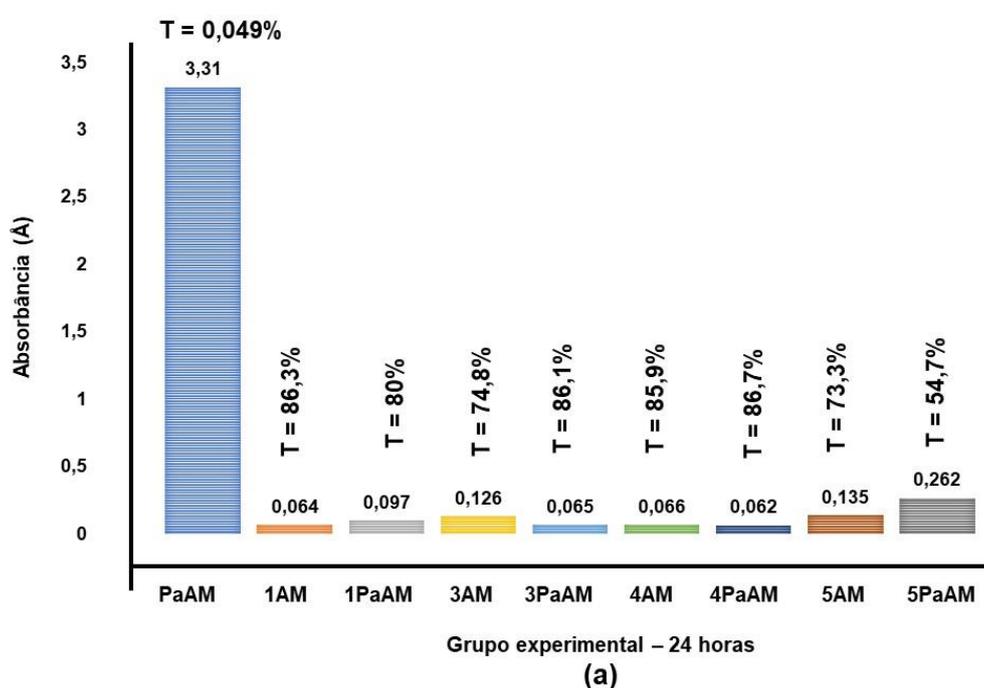
O grupo constituído pelo carvão e a bactéria (CACmPaAM) degradou com melhor desempenho o azul de metileno, entre os três grupos. Percebemos que houve uma potencialização ao efetuar associação entre carvão ativado e o microrganismo. Jamee e Siddique (2019) relataram o tratamento de fluentes têxtil podem seguir inúmeros métodos físicos ou químicos. Porém, a utilização de microrganismos ou enzimas microbianas em combinação com método físico-químico oferece um resultado melhor com uma viabilidade econômica. As bactérias utilizam compostos xenobióticos presentes no corante como substrato para seu metabolismo. Eles ainda afirmam que o uso de uma biomassa é essencial se o efluente se apresentar altamente tóxico, auxiliando no crescimento e manutenção de células microbianas.

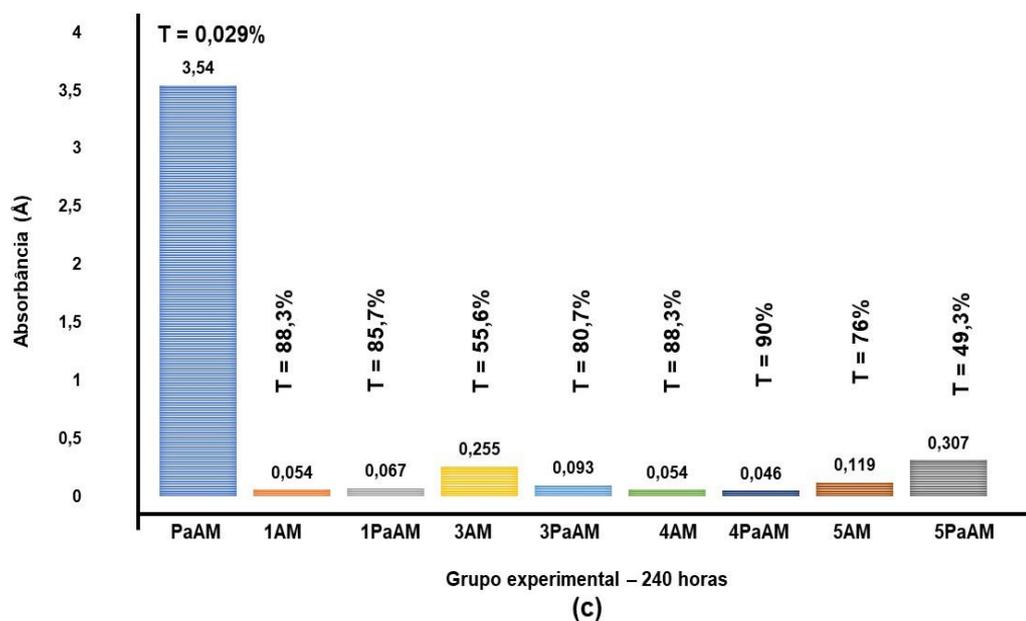
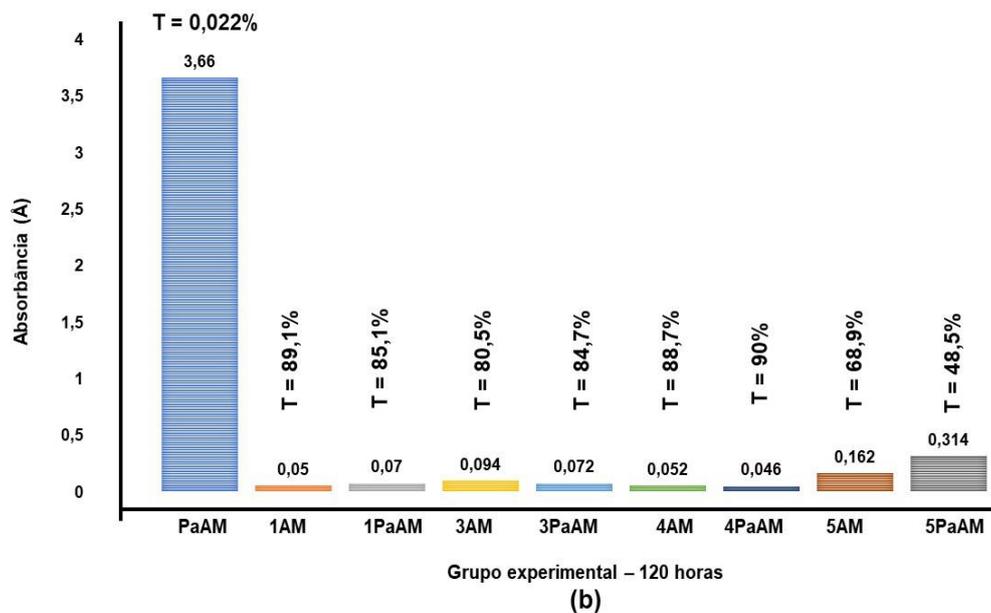
Khan, Bhawana e Fulekar (2013 *apud* Jamee, Siddique, 2019) descrevem que a maioria dos microrganismos não utiliza os corantes como fontes de carbono e/ou nitrogênio para seu metabolismo. Essas culturas bacterianas requerem uma fonte de carboidratos, ou fontes orgânicas complexas, como extrato de levedura, peptona ou uma combinação de ambos para a decomposição.

4.4.7.2 Teste 2 – Carvão ativado e carvão ativado funcionalizado

Neste experimento os grupos funcionais foram expostos ao azul de metileno em períodos diferentes (24h, 120h e 240h). A degradação observada da solução de azul de metileno em 24 horas de exposição dos grupos experimentais estão nos Gráficos 19a em 24 horas, 120 horas (17b) e 240 horas (17c).

Gráfico 19 – Descoloração do azul de metileno em grupos experimentais e em períodos de 24 horas (a), 120 horas (b) e 240 horas (c):





Legenda:

T = Transmittância
PaAM = *P. aeruginosa* + azul de metileno
1AM = CACm + azul de metileno
1PaAM = CACm + *P. aeruginosa* + azul de metileno
3AM = CAMC600 + azul de metileno
3PaAM = CAMC600 + *P. aeruginosa* + azul de metileno
4AM = CAMC600_PH + azul de metileno
4PaAM = CAMC600_PH + *P. aeruginosa* + azul de metileno
5AM = CAMC600_HN/HS + azul de metileno
5PaAM = CAMC600_HN/HS + *P. aeruginosa* + azul de metileno

Como foi observado no T1 (secção 4.4.7.1) a menor descoloração ocorreu no grupo experimental com a bactéria e a maior degradação do corante deu-se nos

grupos carvão ativados/carvões ativados funcionalizados e grupos carvões ativados/carvões ativados funcionalizados com *P. aeruginosa*. Isto pode ter ocorrido uma vez que, a adsorção bacteriana não envolve reações químicas onde os grupos funcionais na superfície da parede celular desempenham um papel importante no processo de adsorção (Li *et al.*, 2019). Analisando os dados experimentais apresentados nas Figuras a, b e c inferimos que o tempo de contato do bioissorvente/bactéria com a solução de azul de metileno influenciou na adsorção, ao ocorrer o aumento de transmitância para todas as concentrações analisadas. Entretanto, podemos notar que não ocorreram alterações significativas em relação ao tempo de exposição da maioria dos grupos experimentais dos adsorventes e a bactéria ao azul de metileno.

Vários fatores podem ter favorecido a adsorção do corante azul de metileno nos carvões ativados/carvões funcionalizados. Por exemplo, tempo de contato, que foi experimentado neste estudo, isto porque, a remoção de poluentes para alcançar o equilíbrio também está atrelada ao tempo de contato. Ou seja, o tempo de contato entre a água com o resíduo e o material de carbono, tem um efeito significativo na adsorção de contaminantes, mais tempo em contato resulta em uma maior adsorção (Adegoke *et al.*, 2017).

Outro fator importante é o efeito do pH dos poluentes. Em faixas determinadas de pH, a adsorção dos poluentes pode aumentar com o aumento do pH até um determinado valor e depois diminui com o aumento adicional do pH. Desta forma, teremos faixas de pH favoráveis para a adsorção de cada poluente em um determinado resíduo industrial. O efeito do pH também pode ser explicado pelo ponto de carga zero (pH_{PCZ}) do adsorvente, no qual o adsorvente é neutro. A carga superficial do adsorvente fica positiva quando o pH do meio está abaixo do pH_{PCZ} sendo negativo em um pH acima do pH_{PCZ} (Adegoke *et al.*, 2017).

Ponderando os valores de degradação do azul metileno e os grupos experimentais utilizados, com o que foi descrito anteriormente, constatamos que a amostra com o carvão ativado funcionalizado com ácido nítrico e ácido sulfúrico (CAMC600_HN/HS) apresentou uma adsorção menor quando comprada aos outros adsorventes. Isto pode ter ocorrido devido ao pH_{PCZ} de 4,26, desta amostra. Retornando a secção 4.4.7.1, veremos que das amostras estudadas ela é a única com o pH_{PCZ} ácida. Ou seja, podemos deduzir que o meio onde ocorreu a adsorção estava básico, favorecendo a adsorção do azul de metileno (corante catiônico) nos

adsorventes com P_{CZ} básico (as amostras CAMC600 e CAMC600_PH). Isto porque o azul de metileno, exibe um grupo sulfonado, que atribuí seu caráter catiônico, exibindo, portanto, carga superficial positiva (Silva, 2019 *apud* Guilherme *et al.*, 2021). Portanto, a capacidade de adsorção de materiais residuais depende muito das atividades superficiais.

Devemos mencionar que conforme o tempo de contato do adsorvente com o adsorvato aumenta, sua absorvância se torna constante, esta circunstância pode estar ligada à saturação da biomassa, havendo assim poucos sítios disponíveis para a adsorção.

Outro ponto que devemos considerar nos corantes são suas estruturas. Estruturas químicas mais simples e pesos moleculares baixos exibem maiores taxas de remoção das cores. A natureza dos substituintes no anel aromático demonstrou ter um impacto na oxidação. Estudos mostram que os substituintes doadores de elétrons, metil e metoxi, aumentam a degradação enzimática de azofenóis, enquanto os elétrons que retiram os substituintes de cloro, flúor e nitro inibem a oxidação (Singh L.; Singh, V.P., 2015 *apud* Jamee; Siddique, 2019).

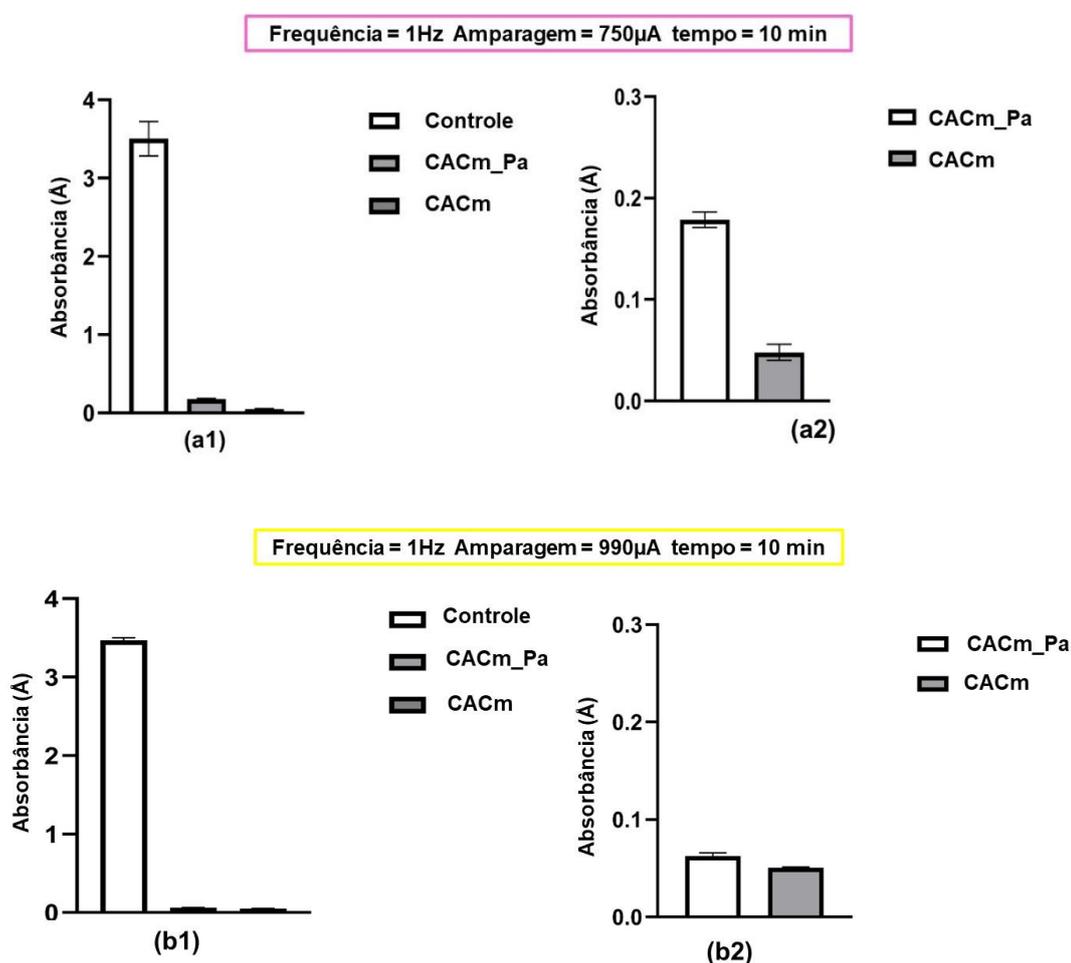
4.5 BIOESTIMULAÇÃO EM BACTÉRIAS

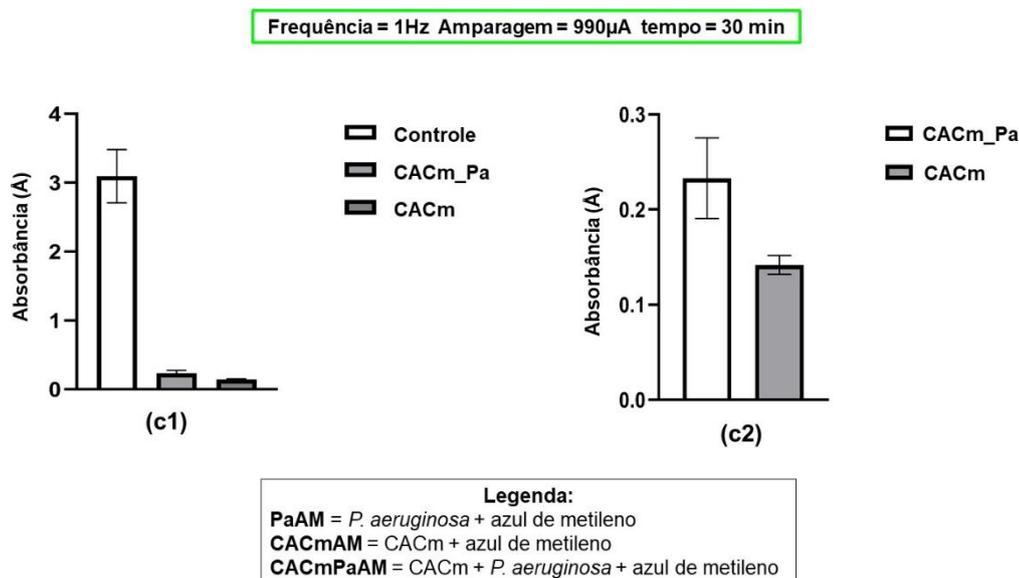
O emprego da bioeletromodulação neste trabalho, ocorreu porque sua aplicação vem sendo amplamente estudada. Pesquisadores descobriram que o processo de biodegradação pode ser potencializado pela aplicação de correntes elétricas, já que alguns microrganismos (especialmente anaeróbios) podem participar diretamente da transferência de elétrons em processos bioeletroquímicos (Carmona-Martinez *et al.*, 2011; Rosenbaum *et al.*, 2011 *apud* Min-Hua Cui *et al.*, 2021). Czerwińska-Gtówka e Krukiewicz (2020) afirmam em seu artigo que os sistemas biológicos podem ser empregados no tratamento de efluentes, auxiliando na remoção de contaminantes ambientais por meio da degradação microbiana.

Nesta etapa do trabalho, foi aplicada a bioeletromodulação com a utilização da bactéria *Pseudomonas aeruginosa* e soluções corantes de azul de metileno e azul brilhante de remazol R. Foram dois testes (T1) e (T2). No T1 foi empregada a solução de azul de metileno (AM) e em (T2) a solução corante de azul brilhante de remazol R (ABR).

No Gráfico 20 estão os resultados da bioeletromodulação do teste, (T1), com os grupos experimentais de carvão ativado comercial (CACm) e carvão ativado comercial com a *P. aeruginosa* (CACmPa). Temos em a1, b1 e c1 os resultados obtidos com o controle (bactéria com o corante) e em a2, b2 e c2 dispomos dos mesmos resultados sem o controle, visto que a remoção do controle foi necessária para obter uma melhor visualização dos valores obtidos nos experimentos.

Gráfico 20 - Bioeletromodulação da interação entre azul de metileno e os grupos experimentais em diferentes amperagens. Em a1/a2 com amperagem de $750\mu\text{A}$ em 10 min; b1/b2 com amperagem de $990\mu\text{A}$ em 10 min e em c1/c2 com amperagem de $990\mu\text{A}$ em 30 min.





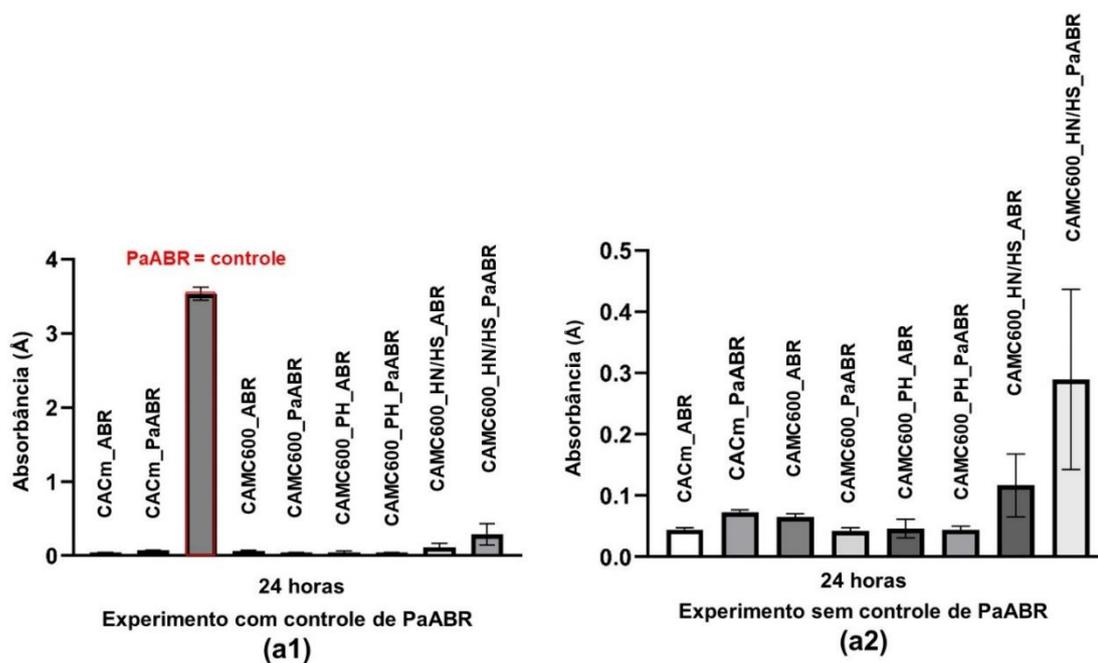
Por meio deste experimento, percebeu-se que a variação da corrente elétrica e o tempo empregado podem interferir na degradação do corante. Dentre as três amperagens e tempo aplicados, percebemos que a amostra (b) exibiu melhor resultado, ou seja, mostrou-se mais efetivo na descoloração do azul de metileno, entretanto, os valores entre o grupo formado por carvão ativo e bactéria exibem valores próximos de absorbâncias quando comparado ao valor do CACm.

Com o (T1), podemos obter dados sobre o comportamento eletroquímico da *P. aeruginosa* e apresentar a técnica eletroquímica que pode ser utilizada para o monitoramento não destrutivo de comunidades bacterianas para a modulação de seu crescimento em associação com a degradação do corante.

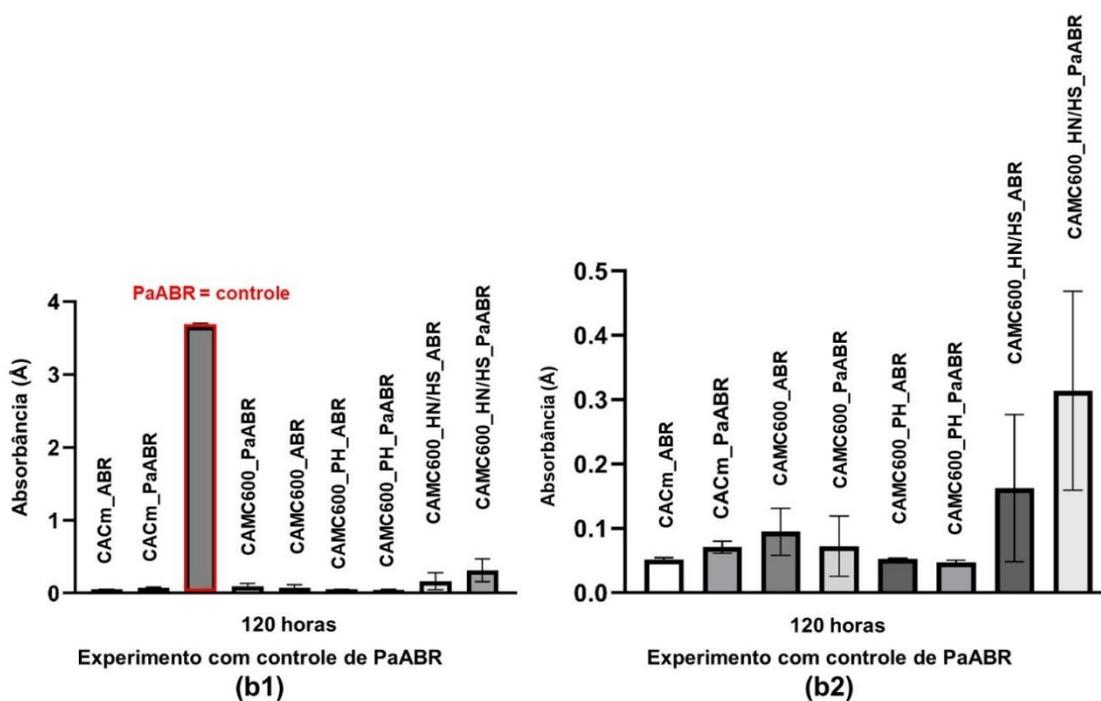
Com os valores alcançados no experimento (T1) pudemos dar prosseguimento ao ensaio e realizar o teste (T2). Neste bioensaio foram utilizados os carvões ativados e funcionalizados em laboratório (CAMC600, CAMC600_PH e CAMC600_HN/HS) com o corante azul brilhante e remazol R, amperagem de 990 μ A em 10 minutos. O tempo de cultivo das bactérias também foi alterado em grupo de 24 horas (Gráfico 21a1/a2) e 120 horas (Gráfico 21b1/b2). Os resultados alcançados estão na Figura 44.

A técnica usada em (T1) foi empregada nos resultados de (T2), ou seja, teremos em a1 e b1 os resultados obtidos com o controle (bactéria com o corante). Em a2 e b2 os resultados sem o controle. A remoção do controle foi necessária para obter uma melhor visualização dos valores obtidos nos experimentos.

Gráfico 21 - Bioeletromodulação da interação entre azul brilhante de remazol R e os grupos experimentais em amperagens de 990 μ A em 10 minuto. Em (a) tem 24 horas em incubadora em (b) 120 horas.



Legenda:
Pa = *P. aeruginosa*
ABR = azul brilhante de remazol R



Compreendemos que não ocorreu uma mudança significativa na análise entre as amostras incubadas por 24 horas (a1/a2) e 120 horas (b1/b2). No experimento de 24 horas, as amostras com menor absorbância (maior degradação do corante ABR) foram CACm_ABR e CAM600_PaABR e, na incubação de 120 horas, a CAMC600_PH_PaABR.

As amostras com menores valores de absorbância estavam associadas à bactéria e vários fatores podem ter beneficiado estas amostras. O pH seria a principal razão, isto porque, no decorrer do processo de adsorção, o pH da solução desempenha um papel importante, já que pode ter impacto na carga do adsorvente devido à possibilidade de induzir a dissociação de grupos funcionais presentes nos sítios de ligação do adsorvente (Parimelazhagan *et al.*, 2022). Como o meio de cultura estava neutro (pH 7,0 e temperatura 37°C), pode ter auxiliado na interação eletrostática entre os sítios de ligações protonadas das moléculas do adsorvente (CAMC600 e CAMC600_PH) e do corante aniônico (ABR) (Parimelazhagan *et al.*, 2022). Importante observar que a associação entre adsorvente e bactéria se tornou importante na adsorção do corante, isto porque, a maioria das cepas requer fontes adicionais de carbono e nitrogênio para metabolizar os corantes, e a eficiência de degradação poderá variar entre diferentes cepas (Li *et al.*, 2019).

Notadamente, as amostras com carvão ativado sem a presença do microrganismo mostraram-se eficazes na descoloração da solução do ABR. Obviamente, devido à sua alta capacidade adsortiva, já comprovada. Existem inúmeros relatos da remoção do ABR com vários adsorventes, carvões ativos à base de celulose (Gecgel; Kolancilar, 2012; Dagdelen *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2022 *apud* Parimelazhagan *et al.*, 2022).

Apenas o grupo experimental formado pelas amostras funcionalizadas com ácido nítrico e ácido sulfúrico tiveram resultados com a absorbância altas. Isto pode ter ocorrido devido à faixa de pH presente no meio. Segundo o descrito na seção 4.4.7.2, a amostra CAMC600_HN/HS mostrou uma adsorção menor quando comparada aos outros adsorventes devido ao pH_{PCZ} de 4,26, desta amostra. O pH presente durante a descoloração constitui fator importante quando associado ao meio de cultura (Kodam *et al.*, 2005; Garg *et al.*, 2012 *apud* Silva *et al.*, 2017).

Ramana e Singh (2000 *apud* Czerwińska-Gtówka; Krukiewicz, 2020) descrevem que, no processo de degradação, as bactérias utilizam o metabolismo do oxigênio para degradar compostos biológicos nas águas que possuem poluentes, para

poderem crescer e se multiplicar. Na fase seguinte, ocorre a degradação, onde bactérias anaeróbias convertem resíduos orgânicos, principalmente proteínas, celulose, lipídios, amido e ácidos nucléicos. O seu principal papel é reduzir o volume de lama e produzir metano.

Devemos destacar que a estrutura do corante irá influenciar na taxa de descoloração. Usualmente, corantes com estruturas simples e baixos pesos moleculares são facilmente degradados, enquanto a taxa de descoloração é mais baixa para corantes com altos pesos moleculares ou grupos de estruturas moleculares complexas. Obviamente, a natureza e o número dos substituintes do corante, assim como as suas posições, apresentam um papel relevante na taxa de degradação (Li *et al.*, 2019).

5. CONCLUSÃO

O trabalho foi desenvolvido usando o mesocarpo do *Cocos nucifera* e sua conversão em carvão ativado e carvões ativados funcionalizados com aplicação como um biofiltro em associação com a bactéria *P. aeruginosa*.

Os resultados obtidos nos experimentos de sorção de águas residuais e soluções corantes com os carvões ativados e carvões ativados funcionalizados permitiu-nos concluir que:

- A conversão do mesocarpo do *Cocos nucifera* em carvões ativos e ativos funcionalizados, mostraram-se efetivas com bases nos resultados obtidos pelas análises de FTIR, Medida de área superficial específica e porosidade e MEV.
- O uso do mesocarpo do *Cocos nucifera* (resíduos em abundância) revelou-se como sendo uma forma de biomassa sustentável para reduzir os impactos gerados pelo acúmulo destes resíduos orgânicos.
- A aplicação dos carvões ativados e ativos funcionalizados (em pó) na filtração das águas coletadas do rio Camarajipe avaliou a viabilidade do uso da conversão desta biomassa para produzir um adsorvente comparável aos adsorventes de desempenho já comprovado.
- A filtração da água residual nas amostras de carvões ativos/funcionalizados gerou uma redução significativa em alguns parâmetros físico-químicos, principalmente com compostos orgânicos.
- Os carvões ativos e carvões ativos funcionalizados usados como suporte para imobilização da bactéria *P. aeruginosa* foi aplicado nos bioensaios de descoloração e de descoloração com bioeletromodulação. Durante o desenvolvimento destes ensaios foi possível supor que as amostras dos carvões ativos/funcionalizados suportadas podem ter melhor desempenho empregando o pH do ponto de carga zero (PCZ).
- Os processos químicos do tratamento das águas precisam ser tratados com responsabilidade e enquadrados na busca pela sustentabilidade, reduzindo os impactos ambientais.

- Estudos devem ser focados na funcionalização destes carvões ativados, já que as funcionalizações podem ser direcionadas para a remoção de grupos poluentes específicos.
- A bioeletromodulação apesar de não ser uma técnica nova, precisa de ajustes em vários fatores como pH, tempo de contato e massa de adsorvente e adsorvato usados.
- Estudos devem ser centrados para aprimorar as técnicas de imobilização.

6 REFERÊNCIAS

ADEGOKE, K. A.; OYEWOLE, R. O.; LASISI, B. M.; BELLO, O. S. Abatement of organic pollutants using fly ash-based adsorbents, **Water Science and Technology**, v. 76, n. 10, p. 2580-2592, 2017.

AJALA, O.; ALI, E. E.; OBASI, N. A.; FASUAN, T. O.; ODEWALE, I. O.; IGIDI, J. O.; SINGH, J. Insights into purification of contaminated water with activated charcoal derived from hamburger seed coat, **International Journal of Environmental Science and Technology** v. 19, n. 7, p. 6541-6554, 2022.

ALTENOR, S.; CARENE, B.; EMMANUEL, E.; LAMBERT, J.; EHRHARDT, J. J.; GASPARD, S. Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 165, n. 1-3, p. 1029-1039, Jun. 2009.

ALVES, S da L.; MARTINS, A. L.; JESUS, de B. L. Avaliação da qualidade da água na bacia do rio Camarajipe (Salvador – Brasil): diagnóstico dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e determinação do IQA. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 6, n. 1. p. 71-80, 2019.

AMARAL, A. M. M.; SAKANE, K. K. **Análise e identificação de alguns compostos poluentes utilizando a técnica espectroscópica no infravermelho**. In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica: Anais do XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação; 2007; São José dos Campos. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba, p. 113-116, 2007.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Disponível em: <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>. Acesso em: 23 abr. 2024.

ANDRADE, A. M.; PASSOS, P. R. A.; MARQUES, L. G. C.; OLIVEIRA, L. B.; VIDAURRE, G. B.; ROCHA, J. D. S. Pirólise de resíduos do coco da baía (*Cocos nucifera Linn*) e análise do carvão vegetal, **Sociedade de Investigação Florestais**, v. 28, n. 5, p. 707-714, 2004.

ANDRADE, R. G. S. A.; MELO, K. R. B.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V.; MEILI, L. **Caracterização do biocarvão obtido a partir da pirólise do endocarpo do coco (*Cocos Nucifera L.*)**. In: XII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 12., 2017, UFSCar-São Carlos-SP: Jun. 2017.

ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A.; ÂNGELO, P. C. S.; RIBEIRA, F. E. Seleção de cultivares de coqueiro para diferentes ecossistemas do Brasil. In: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. **Recursos Genéticos e Melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro**. Brasília: Embrapa -

SPI, 1999.

ARAÚJO, P. C. C.; GONÇALVES JÚNIOR, D. R.; CARDOZO FILHO, L.; MARQUES, J. J.; SANTOS, E. J. Uso de carvão ativado na remoção de CO₂, **Scientia Plena**, v. 14, n. 5, 2018.

ASTM E1756-08(2015), **Standard Test Method for Determination of Total Solids in Biomass**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org

ASTM D3838-80(1999), **Standard Test Method for pH of Activated Carbon**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1999, www.astm.org

ASTM D5832-98(2014), **Standard Test Method for Volatile Matter Content of Activated Carbon Samples**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org

AYILARA, M.S.; BABALOLA, O. O. Bioremediation of environmental wastes: the role of microorganisms, **Frontiers in Agronomy**, v. 5, p. 1-15, 2023.

AZUBUIKE, C. C.; CHIKERE, C. B.; OKPOKWASILI, G. C. Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects, **World Journal Microbiol Biotechnol**, v. 32, n. 180 p 1-18, 2016.

BANDOSZ, T.J.; ANIA, C. O. Surface chemistry of activated carbons and its characterization. In: BANDOSZ, T. J *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*. 1. ed. New York: **Elsevier**, v. 7, cap.4, 2006, p. 159-229.

BANDOSZ, T. J. Desulfurization *on* activated carbons. *In*: BANDOSZ, T. J **Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation**. 1. ed. New York: Elsevier, v. 7, cap.5, p. 231-292, 2006.

BANSAL, R. C.; GOYAL, M. **Activated carbon adsorption**. 1 ed. New York: CRC Press, p. 520, 2005.

BARBATO, R. A.; REYNOLDS, M. C. Bioremediation of contaminated soils, **Principles and Applications of Soil Microbiology**, 3. ed., p. 607-631, 2021.

BARBOSA, C. S.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; DOS SANTOS SILVA, A. Remoção de compostos fenólicos de soluções aquosas utilizando carvão ativado preparado a partir do aguapé (*Eichhornia crassipes*): estudo cinético e de equilíbrio termodinâmico. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 447-453, 2014.

BAKTI, A. I.; GARESO, P. L. Characterization of active carbon prepared from coconuts shells using FTIR, XRD and sem techniques, **Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi**, v. 7, n. 1, p. 33-39, 2028.

BAYAT, Z.; HASSANSHAHIAN, M.; CAPPELL, S. Immobilization of Microbes for Bioremediation of Crude Oil Polluted Environments: A Mini Review, **The**

Open Microbiology Journal, v. 9, p. 48-54, 2015.

BEDIA, J.; PEÑAS-GARZÓN, M.; GÓMEZ-AVILÉS, A.; RODRIGUEZ, J. J.; BELVER, C. Review on Activated Carbons by Chemical Activation with FeCl₃, **Journal of Carbon Research**, v. 6, n. 21, p. 1-25, 2020.

BILAL, M.; ALI, J.; BIBI, K.; KHAN, S. B.; SAQIB, M.; SAEED, R.; JAVERIA, R.; KHAN, H.; AKHTAR, K.; BAKHSH, E. M. Remediation of different dyes from textile effluent using activated carbon synthesized from *Buxus Wallichiana*, **Industrial Crops & Products**, v. 187, 2022

BOUABIDI, Z. B.; EL-NAAS, M. H.; ZHANG, Z. Immobilization of microbial cells for the biotreatment of wastewater: a review, *Environmental Chemistry Letters*, v. 17, n. 1, p. 241–257, 2019.

BRAINER, M. S de C. P.; XIMENES, L.F. Produção de coco – soergimento das áreas tradicionais do Nordeste, **Caderno Setorial ETENE**, ano 5, n. 127, dez 2020.

BRAINER, M. S. De C. P. Coco: Produção e mercado, **Caderno Setorial ETENE**, ano 6, n. 206, dez 2021.

BRUM, S. S.; BIANCHI, M. L.; VANÉSIA LIANE DA SILVA, V. L DA; GONÇALVES, M.; GUERREIRO, M. C.; OLIVEIRA, L. C. A. DE. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café, **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.

BIOSETA. Disponível em: <https://www.bioseta.com.br/voce-sabe-o-que-significam-os-ods-da-onu-e-como-aplica-los-em-seu-negocio/>. Acesso em: 08 mar. 2024.

BUDI, E.; UMIATIN; NASBEY, H.; BINTORO, R. A.; WULANDARI, F.; ERLINA, Activated Coconut Shell Charcoal Carbon Using Chemical Physical Activation, **Research Article**, v. 1712, n. 1, 2016.

BWAPWA, J. K., Chapter 23 - Factors affecting the bioremediation of industrial and domestic wastewaters, **Microbial Biodegradation and Bioremediation, Techniques and Case Studies for Environmental Pollution**, 2 ed., 2022, p. 461-472.

Centers for Disease Control and Prevention. Disponível em: <https://phil.cdc.gov/Details.aspx?pid=10043>. Acesso em: 13 mar. 2024.

CÉSAR, S. F.; SILVEIRA, M. S.; CUNHA, R. D. A. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de brique de uma alternativa sustentável para a destinação de resíduos do coco *in natura***. In: V Encontro Nacional e II Encontro Latino-Americano sobre edificações e comunidades sustentáveis. Recife, 2009.

CHAROENPANICH, J. Chapter 5 - Removal of acrylamide by microorganisms. In: **Applied Bioremediation – Active and Passive Approaches**. INTECH, 2013, p. 102-121. DOI: 10.5772/56150. Disponível em:

<https://www.intechopen.com/chapters/45205>. Acesso em: 23 abr. 2024.

CHEN, J.; CHEN, Q.; MA, Q. Influence of surface functionalization via chemical oxidation on the properties of carbon nanotubes, **Journal of Colloid and Interface Science**, n. 370, p. 32-38, 2012.

CHEN, B.; ZHOU, D.; ZHU, L. Transitional adsorption and partition of nonpolar and polar aromatic contaminants by biochars of pine needles with diferente pyrolytic temperatures. **Environmental Science & Technology**, 42, p. 5137-5143, 2008.

CHENG, H.; XIAO, Y.; ZHAO, F. **Electrochemically Active Microorganisms**, Editora Frontiers Media, 2018, 218 p.

CHONG, M. Y.; TAM, Y. J. Bioremediation of dyes using coconut parts via adsorption: a review, **SN Applied Sciences**, v. 2, n. 187, 2020.

Conselho Nacional da Água. Disponível em:
<https://conselhonacionaldaagua.weebly.com/aacutegua-no-planeta-terra.html>.
Aceso em: 23 abr. 2024.

COLTRO, G. M.; LIMA, J. Z.; PEJONA, O. J.; RODRIGUES, V. G. S. Ativação de compostos orgânicos com ácido fosfórico e os efeitos na adsorção de Pb e Cd, **Química. Nova**, v. 46, n. 9, p. 846-853, 2023.

Nota Técnica N.º 018/2022 COMON
COORDENAÇÃO DE MONITORAMENTO DE RECURSOS AMBIENTAIS E
HÍDRICOS. **Resposta ao processo SEI nº 046.0520.2022.0022458-00:**
Monitoramento da qualidade da água no rio Camarajipe. Salvador:
COMON, 2022.

CORTEZ, L. A. B.; PEREZ, J. M. M.; ROCHA, J. D.; JORDAN, R. A.; MESA, H. R. M. Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v.3 n. 1, p.021-030, Jan/Abr., 2009.

CUNHA, J. A.; PEREIRA, M. M.; VALENTE, L. M. M.; PISCINA, P. R. de la; HOMS, W.; SANTOS, M. R. L. Waste biomass to liquids: Low temperature conversion of sugarcane bagasse to bio-oil. The effect of combined hydrolysis treatments, **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 5, p. 2106-2116, 2011.

CZERWIŃSKA-GLÓWKA, D.; KRUKIEWICZ, K. A journey in the complex interactions between electrochemistry and bacteriology: From electroactivity to electromodulation of bacterial biofilms, **Bioelectrochemistry**, v. 131, 2020.

DAMÁSIO, R. A. P.; OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A.C. O.; BARCELOS, D. C.; PEREIRA, B. L. C.; MAGALHAES, M. A. SILVA, C. M. S. Perfil térmico e controle da carbonização em forno circular por meio da temperatura interna. *Ciencia da Madeira*, **Brazilian Journal of Wood Science**, v. 6, n. 1, p. 11-22, 2015. Andrade

DAS, D.; SAMAL, D. P.; MEIKAP, B. C. Preparation of Activated Carbon from

Green Coconut Shell and its Characterization, **Journal Chemical Engineering & Process Technology**, v. 6, n. 5, 2015.

DENG, Z.; SUN, S.; LI, H.; PAN, D.; PATIL, R. R.; GUO, Z.; SEOK, I. Modification of coconut shell-based activated carbon and purification of wastewater, **Advanced Composites and Hybrid Materials**, v. 4, p. 65–73, 2021.

DEOLIN, M. H. DA SILVA; FAGNANI, H. M. C.; ARROYO, P. A.; BARROS, M. A. S. D. **Obtenção do ponto de carga zero e materiais adsorventes**. In: VII EPCC – Encontro internacional de produção científica, Anais Eletrônicos, Centro Universitário Cesumar, Maringá, Paraná: Cesumar, 2013.

DIN, A. T. M.; HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L. Batch adsorption of phenol onto physiochemical-activated coconut shell. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 161, n. 2-3, p. 1522-1529, Jan. 2009.

DUA, M.; SINGH, A.; SETHUNATHAN, N.; JOHRI A. K. Biotechnology and bioremediation: successes and limitations, **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 59, p. 143–152, 2002.

DZIOŃEK, A.; WOJCIESZYŃSKA, D.; GUZIK, U. Natural carriers in bioremediation: A review, **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 23, p. 28-3, 2016.

EBRAHIMI, M.; CAPARANGA, A. R.; ORDONO, E. E.; VILLAFLORES, O. B. Evaluation of organosolv pretreatment on the enzymatic digestibility of coconut coir fibers and bioethanol production via simultaneous saccharification and fermentation, **Renewable Energy**, v. 109, p. 41-48, 2017. Oliveira

EDELWEISS, F. Camarajipe e Lagoa de Abaité. Publicação Salvador-Bahia. Centro de Estudos Bahianos, 1969

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 23 mar. 2024

FARRAPEIRA, R.; CRUZ, K.; SCHNEIDER, J.; BJERK, T.; KRAUSE, L.; CARAMÃO, E. **Caracterização preliminar da biomassa de fibra de coco com vista à obtenção de bio-óleo para uso combustível**. In: 59º Congresso Brasileiro de Química, 59, 2019, João Pessoa. Disponível em: https://www.abq.org.br/cbq/trabalhos_aceitos_detalhes,665.html. Acesso em: 04 out. 2019.

FAZELI, M.; BALGESHIRI, M. J. K.; ALIGHARDASHI, A. Water Pollutants Adsorption through an Enhanced Activated Carbon Derived from Agriculture Waste, **Archives of Hygiene Sciences**, v. 5, n. 4, p. 286-294, 2016.

FERREIRA, R. P. S.; CORDEIRO, J.; CORDEIRO, T. S.; VIEIRA, E. D.; CORDEIRO, J.L.; PEREIRA, S. L. C. e S. Caracterização da qualidade da água dos afluentes do Córrego Macuco, distrito de Ipoema, Itabira (MG), **Research**,

Society and Development, v. 7, n. 6, p. 2525-3409, 2018.

FERREIRA, R. C.; OLIVEIRA, T. F. V. de; COUTO JUNIOR, O. M.; BARROS, M. A. S. de; CARVALHO, K. Q. de. Mecanismo de adsorção de paracetamol em carvões de origem nacional. *In*: Congresso brasileiro de engenharia química, 10^o, **COBEQ**, Florianópolis, p. 1-8, 2014.

FIGUEIREDO, M. E. O.; LONGUE Jr., D.; PEREIRA, A. K. S.; CARNEIRO, A. C. O.; DA SILVA, C. M. S. Potencial da madeira de *Pterogyne nitens* Tul. (madeira-nova) para produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 420-431, Jan./Mar. 2018.

FIGUEIREDO, J. L. Functionalization of porous carbons for catalytic applications, **Journl of Materials Chemistry A**, n. 1, p. 9351-9364.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. A cultura do coqueiro (Coleção Plantar, 48), Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 2006, 101 p.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**, Sistema de Produção 01, Embrapa, Aracaju, Serjipe, dez. 2002.

FREITAS, F. B. A. DE; CÂMARA, M. Y. DE F.; MARTINS, D. F. F. Determinação do PCZ de adsorventes naturais utilizados na remoção de contaminantes em soluções aquosas, **Bucher Chemistry Proceedings**, v. 3, n. 1, 2015.

GAMA VIEIRA, G. E.; NUNES, A. P.; TEIXEIRA, L. F.; COLEN, A. G. N. Biomassa: uma visão dos processos de pirólise. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 15, n. 24, p. 105-212, Jul./Dez. 2014.

GANS, P. **Vibrational molecules an introduction to the interpretation of infrared and Raman spectra**. London: William Clowes & Sons Limited, 1971.

GONG, Y.-Z.; NIU, Q.-Y.; LIU, Y.-G.; DONG, J.; XIA, M.-M. Development of multifarious carrier materials and impact conditions of immobilised microbial technology for environmental remediation: A review, **Environmental Pollution**, v. 314, 2022.

GRACE N. IJOMA, G. N.; MUTUNGWAZI, A.; MANNIE, T.; NURMAHOMED, W.; MATAMBO, T. S.; HILDEBRANDT, D. Addressing the water-energy nexus: A focus on the barriers and potentials of harnessing wastewater treatment processes for biogas production in Sub Saharan Africa, **Heliyon**, v. 8, 2022.

GUILARDUCI, V. V. DA S.; MESQUITA, J. P DE; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino, **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1226-1232, 2006.

GUILHERME, G. K. da S.; SANTOS, M. C. de M.; SANTOS, G. L. dos; SANTOS, C. P. F. dos. Estudo de adsorção dos corantes têxtil azul de metileno e violeta brilhante remazol por casca de arroz. *In*: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciência, 6, 2021, **Conapesc digital**, ISSN: 25256696.

GUO, J.; LUA, A. C. Textural and chemical properties of adsorbent prepared from palm shell by phosphoric acid activation. **Materials Chemistry and Physics**, Lausanne, v. 80, n. 1, p. 114-119, Apr. 2003.

GÜL, U. D. Bioremediation of Dyes in Textile Wastewater, **Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi Turkish Journal of Scientific Reviews**, v. 11, n. 2, p. 24-28, 2018.

HAIJEGHRARI, M.; HEJAZI, P. Enhanced biodegradation of n-Hexadecane in solid-phase of soil by employing immobilized *Pseudomonas Aeruginosa* on size-optimized coconut fibers, **Journal of Hazardous Materials**, v. 389, 2020.

HAMEED, B. H.; AHMAD, A. L.; LATIFF, K. N. A. Adsorption of basic dye (methylene blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust, **Dyes and Pigments**, v. 75, n. 1, p. 143-149, 2007.

História de Salvador – Cidade Baixa e Alta. Disponível em: <https://salvadorhistoriacidadebaixa.blogspot.com/2014/01/iemanja-festa-do-rio-vermelho.html/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

HOLANDA, C. A.; TEIXEIRA, T. V. M.; SOUZA, J. L.; SILVA, H. A. DOS S.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; FARIAS, R. F. DE. Babaçu como Adsorvente de Baixo Custo para a Remoção do Azul Remazol e do Vermelho Remazol, **Química dos Materiais**, v. 2, n. 1/2, Artigo 02 p. 15-24, 2012.

HOLLAS, J. M. **Modern Spectroscopy**. John Wiley & Sons, 2013.

HU, F.; WANG, P.; LI, Y.; LING, J.; RUAN, Y.; YU, J.; ZHANG, L. Bioremediation of environmental organioc pollutants by *Pseudomonas aeruginosa*: Mechanisms, methods and challengs, **Environmental Research**, v. 239, n. 1, 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 fev. 2024.

Instituto Nacional de Tecnologia-INT. Carvão ativado: INT desenvolve alternativas para obtenção e uso. INOVATIVA - Revista eletrônica do Instituto Nacional de Tecnologia. Edição: Divisão de Comunicação do INT (DICOM), Ano 4, n. 18, jan/fev 2017, 12p.

IGARASHI, M. A. Potencial de produção e exploração de Artemia nas salinas costeiras do Rio Grande do Norte, **Revista Semiárido De Visu**, v. 9, n. 2, p. 87-102, 2021.

IHSANULLAH, I.; JAMAL, A.; ILYAS, M.; ZUBAIR, M.; KHAN, G.; ATIEH, M. Bioremediation of dyes: Current status and propects, **Journal of Water Process Engineering**, v. 38, 2020.

INVIK, J., BARKEMA, HW, MASSOLO, A., NEUMANN, NF E CHECKLEY, S. Total coliform and Escherichia coli contamination in rural well water: analysis for passive surveillance, **Journal of Water and Health**, v. 15, n. 5, p. 729–740,

2017.

JAGUARIBE, E. F.; MEDEIROS, L. L.; BARRETO, ARAÚJO, L. P. The performance of activated carbons from sugarcane bagasse, babassu and coconut shells in removing residual chlorine. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 22, n. 01, p. 41-47, Jan./Mar. 2005.

JAMEE, R.; SIDDIQUE, R. Biodegradation of Synthetic Dyes of Textile Effluent by Microorganisms: An Environmentally and Economically Sustainable Approach, **European Journal of Microbiology and Immunology**, v. 9, n. 4, p. 114–118, 2019.

JIANG, Y., YANG, F., DAI, M., ALI, I., SHEN, X., HOU, X., ALHEWAIRINI, S.S., PENG, C., NAZ, I. Application of microbial immobilization technology for remediation of Cr(VI) contamination: a review, **Chemosphere**, n. 286, 2022.

JUAN, Y.; KE-QIANG, Q. Preparation of activated carbon by chemical activation under vacuum. **Environmental Science & Technology**, v. 43, n. 9, p. 3385-3390, 2009.

JULIEN, F.; BAUDU, M.; MAZET, M. Relationship Between Chemical and Physical Surface Properties of Activated Carbon, **Water Research.**, v. 32, n. 11, p. 3414–3424, 1998.

KANG, M. -S.; KIM, J. H.; WON, J.; MOON, S.-H.; KANG, Y. S. Highly charged proton exchange membranes prepared by using water soluble polymer blends for fuel cells, **Journal of Membrane Science**, v. 247, n. 1–2, p. 127–135, 2005.

KAUR, R.; MAVI, G. K.; RAGHAV, S. Bioremediation of Sludge using *Pseudomonas aeruginosa*, **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, n. 4, p. 69-79, 2019.

KAWAHIGASHI, F.; MENDES, M. B.; ASSUNÇÃO JÚNIOR, V. G. DA; GOMES, V. H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado, **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 235-244, jul/set 2014.

KAYASTHA, V.; PATEL, J.; KATHRANI, N.; VARJANI, S.; BILAL, M.; SHOW, P. L.; KIM, S. H.; BONTEMPI, E.; BHATIA, S. K.; BUI, C. T. New Insights in factors affecting ground water quality with focus on health risk assessment and remediation techniques, **Environmental Research**, v. 2121, 2022.

KHANAL, M.; RAI, D.; KHANAL, R.; BHATTARAI, A. Determination of Point Zero Charge (PZC) of Homemade Charcoals of *Shorea Robusta* (Sakhuwa) and *Pinus Roxburghii* (Salla), **International Journal of Engineering Research & Technology**, v. 9, n. 10, p. 154-155, 2020.

KOTRESHA, D.; VIDYASAGAR, G. M. Phenol degradation in a packed bed reactor by immobilized cells of *Pseudomonas aeruginosa* MTCC 4997 **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 10, p. 386–389, 2017.

- LAUREANO-PEREZ, L.; TEYMOURI, F.; ALIZADEH, H.; DALE, B. E. Understanding factors that limit enzymatic hydrolysis of biomass. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 124 (1-3), p. 1081-1099, 2005.
- LAZIM, Z. M.; HADIBARATA, T.; PUTEH, M. H.; YUSOP, Z. Adsorption Characteristics of Bisphenol A onto Low-Cost Modified Phyto-Waste Material in Aqueous Solution, **Water Air Soil Pollut**, v. 226, n. 34, 2015.
- LI, HAI-HONG; WANG, YANG-TAO; WANG, Y.; WANG, HAI-XIA; SUN, KAI-KAI; LU, ZHEN-MEI. Bacterial degradation of anthraquinone dyes, **Journal of Zhejiang University ScienceB**, n. 20, v. 6, p. 528–540, 2019.
- LI, J. LIU, H.; CHEN, P. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection, **Water Research**, v. 137, p. 362–374, 2018.
- LIMA, S.B. **Preparação de carvões ativados a partir do mesocarpo de coco verde, utilizando diferentes agentes ativadores**. 2014, 140 f. Tese (Doutorado em Química)-Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2014.
- LOPEZ-RAMON, M. V.; STOECKLI, F.; MORENO-CASTILLA, C.; CARRASCO-MARIN, F. On the characterization of acidic and basic surface sites on carbons by various techniques. **Carbon**, 37, p. 1215-1221, 1999.
- LU, M.; CONNELL, L. D. Swel of coal matrix induced by gas sorption and its partition top ore-volume and bulk strains – a critical parameter for coal permeability. In: 44 th US Rock Mechanics Symposium and 5th U.S. – Canada Rock Mechanics Symposium, 44., Salt Lake City: Jun. 2010.
- MALDONADO, M.; DIMITRI, L.; GIORLANDO, P.; LEONEL, L.; ADRIAN, B.; SIMÓ, C.; TELLEZ, V. E.; ZARAGOZA, C. Effect of biostimulation in the bioremediation of waters coming from debbittering olives process, **Environmental Advances**, v. 10, 2022.
- MARCELINO, M. M.; DE MELO, S. A. A. B. V.; TORRES, E. A. Caracterização da biomassa da casca de coco para obtenção de energia. (**PDCCA Artigos**) **Bahia análise & dados**, v. 27, n.1, p.336-355, Jan./Jun. 2017.
- MARQUES, I. M.; MOREIRA, I. T. A.; SANTOS, R. S. S.; ARAGÃO, T. N. M.; CARDOSO FILHO, M. S. **Desenvolvimento de biotecnologia como melhoria no saneamento básico – Estudo de caso do Rio Camarajipe**. In: Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE, 48, 2018, Fortaleza, Ceará.
- MATA, P. T. G.; ABEGG, M. A. Descrição de caso de resistência a antibióticos por *Pseudomonas aeruginosa*. **Arquivo Mudi**, v. 11, n. 2, p. 20-25, 2007
- MARTINEZ, M. S.; PIZA, A. V. de T.; DANTAS, A. Di B.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; Di BERNARDO, L. Remoção dos herbicidas diuron e hexazinona de água por adsorção em carvão ativado. **Revista DAE-sabesp**, ed. 185, p. 35-39, Jan. 2011.

McDOUGALL, G. J. The physical nature and manufacture of activated carbono. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 91, n. 4, p. 109-120, jan./mar. 1991.

MEDIĆ, A.; STOJANOVIĆ, K.; IZRAEL-ŽIVKOVIĆ, L.; BEŠKOSKI, V.; LONČAREVIĆ, B.; KAZAZIĆ, S.; KARADŽIĆ, I. A comprehensive study of conditions of the biodegradation of a plastic additive 2, 6-di-tert-butylphenol and proteomic changes in the degrader *Pseudomonas aeruginosa* *san ai*, **Royal Society of Chemistry Advances**, v. 9, n. 41, p. 23696-23710, 2019.

MEGHARAJ, M.; RAMAKRISHNAN, B.; VENKATESWARLU, K.; SETHUNATHAN, N.; NAIDU, R. Bioremediation approaches for organic pollutants: A critical perspective, **Environment International**, v. 37, n. 8, p. 1363-1375, 2011.

MEHROTRA, T.; SUBHABRATA DEV, S.; ADITI BANERJEE, A.; CHATTERJEE, A.; SINGH, R.; AGGARWAL, A. Use of immobilized bacteria for environmental bioremediation: A review, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, 2021.

MENÉNDEZ-DÍAZ, J. A.; MARTÍN-GULLÓN, I. Types of carbon adsorbents and their production. In: BANDOSZ, T. J **Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation**. 1. ed. New York: Elsevier, 2006, v. 7, cap.1, p. 1-48.

MENEZES, A. C. P. F.; SANTOS, H. C. F.; JESUS, A. P.; OZANSKI, G. D.; SILVA JUNIOR, J. W. B.; CASTRO, C. F. S. Ponto de Carga Zero (PCZ) em carvões de súberes extraídos de espécies arbóreas do cerrado brasileiro. In: 10º Encontro Nacional de Tecnologia Química, 10.,2017, Goiânia-GO: Set. 2017.

MIRANDA, C. S; FIUZA, R. P.; CARVALHO, R. F.; JOSÉ, N. M. Efeito dos tratamentos superficiais nas propriedades do bagaço da fibra de piaçava *Attalea funifera* Martius. **Quimica Nova**, v.38, n. 2, p. 161-165, 2015.

MITA, L.; GRUMIRO, L.; ROSSI, S.; BIANCO, C.; DEFEZ, R.; GALLO, P.; MITA, D. G.; DIANO, N. Bisphenol A removal by a *Pseudomonas aeruginosa* immobilized on granular activated carbon and operating in a fluidized bed reactor, **Journal of Hazardous Materials**, v. 291, p. 129–135, 2015.

MULHERN, R.; STALLARD, M.; ZANIB, H.; STEWART, J.; SOZZI, E.; GIBSON, J. MD. Are carbon water filters safe for private wells? Evaluating the occurrence of microbial indicator organisms in private well water treated by point-of-use activated carbon block filters, **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 238, 2021.

MORTLEY, Q.; MELLOWES, W. A.; THOMAS, S. Activated carbons from materials of varying morphological structure, **Thermochimica Acta**, v. 129, p. 173-186, 1988.

NOBRE, J. R. C.; CASTRO, J. P.; BIANCHI, M. L.; BORGES, W. M. da S.; TRUGILHO, P. F.; MOULIN, J. C.; NAPOL, A. Caracterização do carvão

ativado produzido a partir de serragens de maçaranduba. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 693-702, Set. 2015.

MOHAN, V.; PANDEY, A.; VARJAN, S. Microbial Electrochemical Technology: Sustainable Platform for Fuels, **Chemicals and Remediation**, 1. ed., 2018

MOOSAVI, S.; LAI, C. W.; GAN, S.; ZAMIRI, G.; PIVEHZHANI, O. A.; JOHAN, M. R. Application of Efficient Magnetic Particles and Activated Carbon for Dye Removal from Wastewater, **ACS Omega**, v. 5, n. 33, p. 20684-20697, 2020.

MORAN, S. Chapter 6: Clean water characterization and treatment objectives. **An Applied Guide to Water and Effluent Treatment Plant Design**, p. 61–67. Disponível em: doi:10.1016/b978-0-12-811309-7.00006-0. Acessado em: 20 maio 2024.

MOURA, J. I. L.; LEITE, J. B. V. **Jornal CEPLAC Notícias**. Mar. 2001. Disponível em: <http://www.ceplac.gov.br/radar/coco.htm>. Acesso em: 08 abr. 2019.

MUTHUKUMARAN, M., Chapter 11 – Advances in bioremediation of nonaqueous phase liquid pollution in soil and water, **Biological Approaches to Controlling Pollutants - Advances in Pollution Research**, p. 191-231, 2022.

NASCIMENTO JR., A. E. S.; LIMA, C. R.; MARTELLI, M. C.; FURTADO, S. V.; CARVALHO, S. M L.; BRASIL, D.S. B. *In: Estudo das Interações entre Estruturas Moleculares de Carvão Ativado e Compostos Fenólicos em Processos de Adsorção Via Método de Dinâmica Molecular*. 21. Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza, 2015.

NAKAMOTO, K. **Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds**. Part A and B. New York: John Wiley & Sons, 2009.

NASROLLAHZADEH, M., SAJJADI, M., IRAVANI, S., VARMA, R.S. Carbon-based sustainable nanomaterials for water treatment: state-of-art and future perspectives, **Chemosphere**, n. 263, 2021.

NYQUIST, R. A.; KAGEL, R. O. **Handbook of infrared and raman spectra of inorganic compounds and organic salts: infrared spectra of inorganic compounds**. Academic press, 2012.

OLADOYE, P. O.; AJIBOYE, T. O.; OMOTOLA, E. O.; OYEWOLA, O. J. Methylene blue dye: Toxicity and potential elimination technology from wastewater, **Results in Engineering**, v. 16, 2022.

OLIVEIRA, P. C. dos R.; NOGUEIRA, M. G.; SARTORI, L. P. Differential environmental impacts on small and medium size rivers from center of São Paulo State, Brazil, and regional management perspectives, **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 4, p. 404-419, 2014.

OLIVEIRA, G. F. D.; ANDRADE, R. C. D.; TRINDADE, M. A. G.; ANDRADE, H. M. C.; CARVALHO, C. T. D. Thermogravimetric and spectroscopic study (TG–DTA/FT–IR) of activated carbon from the renewable biomass source babassu.

Química Nova, v. 40, n. 3, p. 284-292, Abr. 2017.

OLIVEIRA, F. de M.; COELHO, L. M.; MELO, E. I. Avaliação de processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante azul de metileno. **Revista Matéria**, v. 23, n. 4, 2018.

OLIVEIRA, L. F. S.; SEBASTIANY, L. K.; NAVES, P. L. F.; CAMPOS, J. D. R. de. Avaliação da atividade bacteriostática de carvão ativado impregnado com prata frente à bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, **Revista Processos Químicos**, p. 71-79, jan/jun 2019.

OLIVEIRA, de S. G. V.; COSTA, A. de C. N.; MORAES, S. R. L.; BORJA, C. P. Uso do solo urbano e alterações no rio principal da Bacia Hidrográfica do Rio Camarajipe, Salvador-Bahia. *In*: 20^o Exposição de Experiência Municipais em Saneamento, 46^o, 2016, Juaraguá do Sul. **Anais eletrônicos** [...] Disponível em: <https://sistema.trabalhosasemae.com.br>. Acesso em: 5 dez. 2022.

OMRAN, B. A.; TSENG, B. S.; BAEK, K-H. Nanocomposites against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms: Recent advances, challenges, and future prospects, **Microbiological Research**, v. 282, 2024.

OVERDAHL, K. E.; GOODEN, D.; BOBAY, B.; GETZINGER, G. J.; STAPLETON, H. M.; FERGUSON, P. L. Characterizing azobenzene disperse dyes in commercial mixtures and children's polyester clothing, **Environmental Pollution**, v. 87, 2021.

PADILLA, E. R. D.; BELINI, G. B.; NAKASHIMA, G. T.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Potencial Energético da Casca de Coco (*Cocos nucifera L.*) para Uso na Produção de Carvão Vegetal por Pirólise. **Revista Virtual Química**, v. 10, n. 2, 2018.

PARIMELAZHAGAN, V.; YASHWATH, P; PUSHPARAJAN, D. A.; CARPENTER, J. Rapid Removal of Toxic Remazol Brilliant Blue-R Dye from Aqueous Solutions Using *Juglans nigra* Shell Biomass Activated Carbon as Potential Adsorbent: Optimization, Isotherm, Kinetic, and Thermodynamic Investigation, **International Journal of Molecular Sciences** v. 23, n. 20, 2022.

PATEL, H.; VASHI, R. T. Chapter 2: Characterization of Textile Wastewater, **Elsevier**, p. 21–71, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802326-6.00002-2>. Acesso em: 20 maio 2024.

PERALTA, R.M. **Biodegradação e biorremediação: ênfase em bactéria e fungos**, Canoas: Mérida Publishers, 2022, 227p.

PEREIRA, A. C.; OLIVEIRA, A. E. F.; BRAGA, G. B.; TARLEY, C. R. T. Síntese, Estudo e Caracterização Estrutural da Redução Térmica e com Hidrazina do Óxido de Grafeno por Espectroscopia Raman e Espectroscopia de Infravermelho, **Revista Virtual Química**, v. 11, n. 3, p. 866-877, 2019.

PIAZZA, M.; CAROLINA RESMINI MELO MARQUES, C. R. M.; CAMPOS, D. de P.; MELO, A. R. Utilização de carvão ativado da cinza da casca de arroz como adsorvente na remoção de paracetamol, **Revista de Engenharia e**

Tecnologia, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2023.

PINHO, A. C. D. DE.; MIRANDA, M. R. A.; MULLER, K. DE T. C.; SANTOS, R. M. DOS. Uso de *Pseudomonas aeruginosa* para biodegradação de poluentes contaminantes de água Use of *Pseudomonas aeruginosa* for biodegradation of water contaminant pollutants, **Revista de Biotecnologia & Ciência**, v.7, n.1, p. 8-16, 2018.

PI@nta net. Disponível em: <https://identify.plantnet.org/pt-br/k-world-flora/observations/1020750881>. Acesso em: 03 fev. 2024.

PRABUA, C. S.; THATHEYUSB, A. J. Biodegradation of acrylamide employing free and immobilized cells of *Pseudomonas aeruginosa*, **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 60, p. 69–73, 2007.

PRUCHNIAK, A. P. S.; SILVA, G. DOS S. P. ; DE LIMA, L. S.; QUINÁIA, S. P. Atrazine removal in aqueous solutions using activated carbon from peach stone, **Revista Ambiental Água**, v. 15 n. 3, p. 1-11, 2020.

PUZIY, A. M.; PODDUBNAYA, O. I.; MARTÍNEZ-ALONSO, A.; SUÁREZGARCÍA, F.; TASCÓN, J. M. Surface chemistry of phosphorus-containing carbons of lignocellulosic origin, **Carbon**, v. 43, n. 14, p. 2857-2868, 2005.

QUITETE, C. P. B.; SOUZA, M. M. V.M. Remoção do alcatrão de correntes de gaseificação de biomassa: Processos e catalisadores. **Química Nova**, v. 37, n. 4, p. 689-698, 2014.

RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; ALMEIDA, K. J. C. R.; ALEXANDRE, G. P. Estudo de análise termogravimétrica de diferentes biomassas lignocelulósicas utilizando a análise por componentes principais. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37 n. 3, p. 862-868, Set./Dez. 2015.

REINOSO, F. R.; ALBERO, L. S. **Activated Carbon and Adsorption**. Disponível em: <https://kundoc.com/pdf-activated-carbon-and-adsorption-.html>. Acesso em: 23 abr. 2019.

REGALBUTO, J. R.; ROBLES, J. O. The engineering of Pt/carbon catalyst preparation for application on proton exchange fuel cell membrane (PEFCM). **Progress report - University of Illinois**. Chicago. p. 4-7, 2004.

Revista Nova escola: **Pensar escola, uma aventura de 2 500 anos**. São Paulo: Ed. Abril, nov. 2008-Edição especial.

Revista TAE. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/839/celula-a-combustivel-microbiana-----transforma-esgoto-em-eletricidade>. Acesso em: 20 mar. 2024.

ROCHA, K. D. C.; FERREIRA, M. S.; GARCIA, C. E. R. Produção e produtos à base de coco (*Cocos nucifera* L.): uma revisão, **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 5, p. 41476-41491, 2022.

ROSSON, E.; FRANCESCO GARBO, F.; MARANGONI, G.; BERTANI, R.; LAVAGNOLO, M. C.; MORETTI, E.; TALON, A.; MOZZON, M.; SGARBOSSA, P. Activated Carbon from Spent Coffee Grounds: A Good Competitor of Commercial Carbons for Water Decontamination, **Applied Sciences**, n. 10, p. 1-15, 2020.

RUSYDI, A. F. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review, **Earth and Environmental Science**, v. 118, 2018.

SAID, M.; JOHN, G.; MHILU, C.; MANYELE, S. The study of kinetic properties and analytical pyrolysis of coconut shells. **Journal of Renewable Energy**, v. 2015, 2015.

SANTOS, E.; PINHO, J. A. G. de; MORAES, L. R. S.; FISCHER, T. O Caminho das Águas em Salvador: Bacias Hidrográficas, Bairros e Fontes. Salvador: CIAGS/UFBA; SEMA, 2010. SEMA. Dados da Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado da Bahia. Disponível em: <http://www.meioambiente.ba.gov.br/conteudo.aspx?s=ABAEIAIP&p=ABAETEIN>. Acesso em: 5 dez. 2022

SARMA, H.; LEE, W. Y. Bacteria enhanced lignocellulosic activated carbon for biofiltration of bisphenols in water, **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 17227–17239, 2018.

SENHORAS, E. M. Oportunidades da Cadeia Agroindustrial do Coco Verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua-revista multidisciplinar**, n. 5, 2004. Disponível em: http://www.urutagua.uem.br/005/22eco_senhoras.htm. Acesso em: 09 de abr. 2019.

SHIN, S.; JANG, J.; YOON, S. H.; MOCHIDA, I. A study on the effect of heat treatment on functional groups of pitch based activated carbon fiber using FTIR, **Carbon**, v. 35, n. 12, p. 1739-1743, 1997.

SILUPÚ, C. R.; SOLÍS, R. L. CRUZ, G. J. F.; GÓMEZ, M. M.; SOLÍS, J. L.; KEISKI, L. R. Caracterización de filtros comerciales para agua a base de carbón activado para el tratamiento de agua del río Tumbes – Perú, **Revista Colombiana Química**, v. 46, n. 3, p. 37-45, 2017.

SINGH, P.; SINGH, V. K.; SINGH, R.; BORTHAKUR, A.; MADHAV, S.; AHAMAD, A.; KUMAR, A.; PAL, D. B.; TIWARY, D.; MISHRA, P. K. Chapter 1: Bioremediation: a sustainable approach for management of environmental contaminants, **Abatement of Environmental Pollutants - Trends and Strategies**, p. 1-23, 2020

SILVA, A. L. A.; MELLLO, M. M. C.; ALMEIDA, R. da M. Por onde andam os rios de Salvador? **Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v. 5, n. 2, p. 297-311, jul/dez 2019.

SILVA, A.; RESENDE, R. J.; COSTA, T. C.; DE SOUSA, B. V. O.; SANTOS, A. K.; MAROTTI, B DE S.; DA SILVA, S. S.; CANCELIER, A.; GONÇALVES, D. B.

Análise do potencial biocatalítico de lipase de *Candida rugosa* imobilizada em diferentes suportes, **Acta Ambiental Catarinense**, v.18, n.1, 2021.

SILVA FILHO, F. G. S.; COSTA, W. A.; NASCIMENTO JR., A.E. S. D.; MARTELLI, M. C.; BRASIL, D. S. B. Modelagem molecular de carvão ativado: estudo das propriedades de adsorção com benzeno. In: Congresso brasileiro de engenharia química, 21, 2016, Fortaleza. **Anais [...]** Campinas, Galoá, 2016. Disponível em: <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/modelagem-molecular-de-carvao-ativado-estudo-das-propriedades-de-adsorcao-com-be?lang=pt-br>. Acesso em: 08 maio 2024.

SILVA, L. A. S. da; OLIVEIRA, J. M. de; DUARTE, E. A. A.; BARRETO, N. S. E.; CAZETTA, M. L. Descoloração do corante Azul Brilhante de Remazol R por leveduras isoladas de moluscos do Rio Subaé, no estado da Bahia, Brasil **Engenharia Sanitria Ambiental**, v. 22, n. 06, 2017.

SILVA, M. C. de A.; MONTEGGIA, L. O.; MIRANDA, L. A. S.; THEWES, M.R. Avaliação da viabilidade de utilização de colifagos como indicadores de poluição fecal: suas relações com parâmetros físicos e químicos e indicadores bacterianos, **Engenharia Sanitria Ambiental**, v.20, n.4, p. 645-652, 2015.

Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR+. Disponível em: <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

SNOEYINK, V. L.; WEBER Jr., W. J. The Surface Chemistry of Active Carbon: A Discussion of Structure and Surface Functional Groups. **Environmental Science and Technology**, v. 1, n. 3, p. 228-234, 1967.

SOUTO, F.; CALADO, V.; PEREIRA JUNIOR, N. Fibras de carbono a partir de lignina: uma revisão da literatura. **Revista Matéria**, v. 20, n. 01, p. 100-114, 2015.

SOUSA, A. A. O de.; OLIVEIRA, T. S.; AZEVEDO, L. E. C.; NOBRE, J. R. C.; STEFANELLI, W. F. R.; COSTA, T. A. P. de S.; SILVA, da J. P. S.; BARRAL, A. V. S. Adsorção do corante básico Verde Malaquita via carvão ativado a partir do caroço de açaí, **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.

ŠTEFANAC, T.; GRGAS, D.; DRAGIČEVIĆ, T. L. Xenobiotics-Division and Methods of Detection: A Review, **Journal Xenobiot**, v. 11, n. 4, p. 130-141, 2021.

SUDARSHAN, S.; HARIKRISHANAN, S.; BHUVANEWARI, G. R.; ALAMELU, V.; AANAND, S.; RAJASEKAR, A.; GOVARTHANAN, M. Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: current status and future projects, **Journal of Applied Microbiology**, v. 134, n. 2, 2023.

SUJIONO, E. H.; ZABRIAN, D.; ZURNANSYAH; MULYATI; ZHARVAN, V.; SAMNUR; VHUMAIRAH, N. A. Fabrication and characterization of coconut shell activated carbon using variation chemical activation for wastewater treatment

application, **Results in Chemistry**, v. 4, 2022.

TAHAR, A.; CHOUBERT, J. M.; COQUERY, M. Xenobiotics removal by adsorption in the context of tertiary treatment: a mini review, **Environmental Science and Research**, v. 20, p. 5085-5095, 2013.

TEULAT, B.; ALDAM, C.; TREHIN, R.; LEBRUN, P.; BARKER, J. H. A.; ARNOLD, G. M.; KARP, A.; BAUDOUIN, L.; ROGNON, F. An analysis of genetic diversity in coconut (*Cocos nucifera*) populations from across the geographic range using sequence-tagged microsatellites (SSRs) and AFLPs, **Theoretical and Applied Genetics**, v. 100, p. 764-771, 2000.

THODE FILHO, S.; JORGE, E. N. de L. F.; OLIVEIRA, A. S de; MARQUES, M. R. da C.; FRANCO, H. A. Study on the use of *Artemia salina* as bioindicator in the ecotoxicological evaluation of landfill leachate, **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 21, p. 24-31, 2017.

TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R.; DIECKOW, J.; MANGRICH, A. S.; HIGA, R. C. V. Biocarvão: realidade e potencial de uso no meio florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 875-887, Abr./Jun., 2018.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas, **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008

UNESCO (Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023 – Fatos, dados e exemplos de ação, 2023.

VAN DITMARSCH, D.; BOYLE, K. E.; SAKHTAH, H.; OYLER, J. E.; NADELL, C. D.; DE ZIEL, E.; DIETRICH, L. E. P.; XAVIER, J. B. Convergent Evolution of Hyperswarming Leads to Impaired Biofilm Formation in Pathogenic Bacteria, **Cell Reports**, v. 4, p. 697–708, 2013.

WETLER-TONINI, R. M.; REZENDE, C. E.; GRATIVOL, A. D. Degradação e biorremediação de compostos do petróleo por bactérias: Revisão. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 4, p. 1010-1020, 2010.

WERLANG, E. B.; SHNEIDER, R. C. S.; LAWISCH, A. R.; NIEDERSBERG, C. Produção de carvão ativado a partir de resíduos vegetais. **Revista jovens pesquisadores**, Santa Cruz do Sul, v.3, n.1, p. 156-167, 2013.

WU, L.C., CHEN, C.Y., LIN, T.K., SU, Y.Y., CHUNG, Y.C. Highly efficient removal of victoria blue R and bioelectricity generation from textile wastewater using a novel combined dual microbial fuel cell system. **Chemosphere**, n. 258, 2020.

VIEIRA, G. E. G.; NUNES, A. P.; TEIXEIRA, L. F.; COLEN, A. G. N. Biomassa: uma visão dos processos de pirólise. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 15, n. 24, p. 105-212, Jul./Dez. 2014.

VO, H. N. P.; NGO, H. H.; GUO, W.; NGUYEN, T. M. H.; LI, J.; LIANG, H.; DENG, L.; CHEN, Z.; NGUYEN, T. A. H. Poly-and perfluoroalkyl substances in

water and wastewater: A comprehensive review from sources to remediation, **Journal of Water Process Engineering**, v. 36, 2020.

WANG, Q.; SARKAR, J., Pyrolysis behaviors of waste coconut shell and husk biomasses, **International Journal of Energy Production and Management**, v. 3, n. 1, p. 34–43, 2018.

WIBOWO, N.; SETYADHI, L.; WIBOWO, D.; SETIAWAN, J.; ISMADJI, S.. Adsorption of benzene and toluene from aqueous solutions onto activated carbon and its acid and heat treated forms: Influence of surface chemistry on adsorption. **Journal of Hazardous Materials**, v. 146, p. 237–242, 2007.

WIGMANS, T. Industrial aspects of production and use of activated carbons. **Carbon**, v. 27, n. i, p. 13-22, 1989.

YUSOP, M.F.; ABDULLAH, A. Z.; AHMAD, M. A. Adsorption of remazol brilliant blue R dye onto jackfruit peel based activated carbon: Optimization and simulation for mass transfer and surface area prediction, **Inorganic Chemistry Communications**, v. 158, 2023.

ZANONI, M. V. B.; HIDEKO, Y. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 1 ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016, 344 p.

ZHANG, L.; TU, L. Y.; LIANG, Y.; CHEN, Q.; LI, Z. S.; LI, C. H.; WANG, Z. H.; LI, W. Coconut-based activated carbon fibers for efficient adsorption of various organic dyes, **RSC Advances**, v. 8, p. 42280–42291, 2018.

ZHANG, Y., WANG, F., YANG, X., GU, C., KENGARA, F.O., HONG, Q., LV, Z., JIANG, X., 2011. Extracellular polymeric substances enhanced mass transfer of polycyclic aromatic hydrocarbons in the two-liquid-phase system for biodegradation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 90, p. 1063–1071,

ZHANG, Z.; FAN, Z.; ZHANG, G.; QIN, L; FANG, J. Application progress of microbial immobilization technology based on biomass materials, **BioResources**, v. 16, n. 4, p. 8509-8524, 2021.

ZHONGHUA HU, Z.; SRINIVASAN, M. P.; NI, Y. Novel activation process for preparing highly microporous and mesoporous activated carbons, **Carbon**, v. 39, p. 877–886, 2001.

APÊNDICE A

Ficha de coleta Rio Camarajipe

Ponto a



Ponto b



Ponto c





**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

**Laboratório de Biotecnologia e Ecologia de Microrganismos - LABEM
Ficha de coleta Rio Camarajipe**

Ponto de coleta a

Data: 14/03/2023 Hora: 09h e 15min		Latitude: -12,97691
		Longitude: -38,47526
Local da coleta: CAM08 – Av. ACM, em frente ao 3º Grupamento de Bombeiros Militares, Campinas de Brotas		
Chuva () sim (x) não		
Chuva nas últimas 24h (x) sim () não		
Parâmetros organolépticos		Descrição
Odor	(x) sim () não	
Espuma	() sim (x) não	Havia algumas bolhas
Material flutuante	() sim (x) não	
Cor	() incolor (x) verde () vermelha () outro	

Resultado das análises em campo

Profundidade (m)	30cm
Temperatura (°C)	27°C
pH	7,33 Temp 31,8°C
Condutividade elétrica (µs/cm)	312
total de sólidos dissolvido da água (ppm)	156
Oxigênio dissolvido (OD) (mg/L)	7,79 Temp. 31,8°C
% Saturação de OD (%)	-----

Amostras para laboratório

Amostra	
Preservação	Isopor com gelo reciclável
Volume total	500mL
Número de frascos	1
Tipo de frasco	Vidro
Amostra	
Preservação	Isopor com gelo reciclável
Volume total	1L
Número de frascos	2
Tipo de frasco	Plástico

Fotos do Rio Camarajipe
Ponto de coleta a





**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

**Laboratório de Biotecnologia e Ecologia de Microrganismos - LABEM
Ficha de coleta Rio Camarajipe**

Ponto de coleta b

Data: 14/03/2023 Hora: 10h e 20min		Latitude: -12,95486
		Longitude: -38,47436
Local da coleta: CAM03 – Rua Martiano Bonfim / Barros Reis. Retiro		
Chuva () sim (x) não Chuva nas últimas 24h (x) sim () não		
Parâmetros organolépticos		Descrição
Odor	(x) sim () não	
Espuma	() sim (x) não	
Material flutuante	(x) sim () não	Casa na margem do rio
Cor	() incolor (.) verde () vermelha (x) outro	Marron

Resultado das análises em campo

Profundidade (m)	30cm
Temperatura (°C)	28°C
pH	7,35 Temp 30°C
Condutividade elétrica (µs/cm)	382
total de sólidos dissolvido da água (ppm)	191
Oxigênio dissolvido (OD) (mg/L)	7,52 Temp. 32°C
% Saturação de OD (%)	-----

Amostras para laboratório

Amostra	
Preservação	Isopor com gelo reciclável
Volume total	500mL
Número de frascos	1
Tipo de frasco	Vidro
Amostra	
Preservação	Isopor com gelo reciclável
Volume total	1L
Número de frascos	2
Tipo de frasco	Plástico

Fotos do Rio Camarajipe
Ponto de coleta b





**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

**Laboratório de Biotecnologia e Ecologia de Microrganismos - LABEM
Ficha de coleta Rio Camarajipe**

Ponto de coleta c

Data: 14/03/2023 Hora: 11h e 05min		Latitude: -12,93018
		Longitude: -38,47066
Local da coleta: RCN-CMJ-500 – Son a ponte na Estrada de Campinas, após entrocamento com a Rua do Bambuí, Bairro Baixa do Camarajipe. Próxima da entrada na BR-324 para o bairro Boa Vista de São Caetano		
Chuva () sim (x) não Chuva nas últimas 24h (x) sim () não		
Parâmetros organolépticos		Descrição
Odor	(x) sim () não	
Espuma	() sim (x) não	Havia algumas bolhas
Material flutuante	(x) sim () não	Casa na margem do rio
Cor	() incolor (x) verde () vermelha () outro	

Resultado das análises em campo

Profundidade (m)	30cm
Temperatura (°C)	29°C
pH	7,12 Temp 31,9°C
Condutividade elétrica (µs/cm)	68
total de sólidos dissolvido da água (ppm)	136
Oxigênio dissolvido (OD) (mg/L)	7,38 Temp. 33,6°C
% Saturação de OD (%)	-----

Amostras para laboratório

Amostra	
Preservação	Isopor com gelo reciclável
Volume total	500mL
Número de frascos	1
Tipo de frasco	Vidro
Amostra	
Preservação	Isopor com gelo reciclável
Volume total	1L
Número de frascos	2
Tipo de frasco	Plástico

Fotos do Rio Camarajipe
Ponto de coleta c

