

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAETANO MACHADO GASQUES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA EM
BIORREATORES: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA
ENTRE CARVÃO ATIVADO GRANULAR E BIOBOB.**

LONDRINA

2023

CAETANO MACHADO GASQUES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA EM
BIORREADORES: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA
ENTRE CARVÃO ATIVADO GRANULAR E BIOBOB.**

**Evaluation of Efficiency in Greywater Treatment in Bioreactors: A Comparative
Approach Between Granular Activated Carbon and BioBOB.**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Bruno de Oliveira Freitas

LONDRINA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

CAETANO MACHADO GASQUES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA EM
BIORREATORES: UMA ABORDAGEM COMPARATIVA
ENTRE CARVÃO ATIVADO GRANULAR E BIOBOB.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 05/Fevereiro/2024

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Constanzi
(UTFPR)

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares De Oliveira
(UTFPR)

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Freitas
(UTFPR)
Orientador

LONDRINA

2023

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Bruno de Oliveira Freitas, pela paciência e ajuda durante a montagem do experimento, além da dedicação, ensinamentos e tempo disponibilizado que enriqueceram o presente trabalho.

A minha família e a minha namorada por me apoiarem nessa fase da minha vida e nunca desistirem de mim.

Enfim, agradeço a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Este estudo comparativo teve como propósito monitorar e avaliar o desempenho de dois biorreatores, cada um empregando um meio filtrante distinto (carvão ativado e Biobob), no tratamento da água residuária proveniente da lavagem de roupas. Para compreensão do trabalho, foram realizadas medições de cor, turbidez e Demanda Química de Oxigênio (DQO) na água cinza bruta e nos dois efluentes tratados pelos meios filtrantes mencionados. O experimento foi conduzido no laboratório S003 da UTFPR-Londrina, onde foram instalados dois biorreatores equipados com um sistema de aeração. Durante o curso do experimento, foram realizadas 13 medições ao longo do tempo, duas vezes por semana. Ao longo desse período, observou-se a formação gradual de camadas de biofilme nos meios filtrantes. Os resultados finais destacaram uma vantagem significativa no tratamento da água residuária quando se utilizou carvão ativado como meio filtrante. No que diz respeito à cor, o carvão ativado apresentou uma eficiência média de aproximadamente 79%, já o Biobob cerca de 66%. O carvão ativado em relação à turbidez, registrou-se uma eficiência média de cerca de 92%, já o Biobob cerca de 77%. No tocante à DQO, o carvão ativado demonstrou uma eficácia de remoção de matéria orgânica de 73%, já o Biobob cerca de 61%. Os resultados indicam consistentemente a superioridade do carvão ativado no tratamento da água cinza. Além disso, a formação de biofilme nos meios filtrantes foi observada ao longo do tempo, sugerindo que esses biofilmes podem desempenhar um papel benéfico no processo de tratamento.

Palavras-chave: Bioreator; Carvão ativado; Biobob; Tratamento de água residuária

ABSTRACT

This comparative study aimed to monitor and assess the performance of two bioreactors, each employing a different filtering medium (activated charcoal and Biobob), in treating wastewater from laundry activities. To understand the work, measurements of color, turbidity, and Chemical Oxygen Demand (COD) were taken in the raw water and in the two effluents treated by the mentioned filtering media. The experiment took place in the UTFPR-Londrina laboratory S003, where two bioreactors equipped with an aeration system were set up. Throughout the experiment, 13 measurements were taken over time, twice a week. During this period, the gradual formation of biofilm layers on the filtering media was observed. The final results highlighted a significant advantage in wastewater treatment when activated charcoal was used as the filtering medium. Regarding color, activated charcoal showed an average efficiency of approximately 79%, while Biobob showed about 66%. For turbidity, activated charcoal recorded an average efficiency of around 92%, whereas Biobob showed about 77%. In terms of COD, activated charcoal demonstrated an organic matter removal efficiency of 73%, while Biobob showed around 61%. The results consistently indicate the superiority of activated charcoal in treating gray wastewater. Furthermore, the formation of biofilm on the filtering media was observed over time, suggesting that these biofilms may play a beneficial role in the treatment process.

Keywords: Bioreactors; Activated carbon; Biobob; Wastewater treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema típico de um biorreator de tanque agitado	17
Figura 2 - Localização da instalação do experimento.....	20
Figura 3 - Imagem do sistema completo	23
Figura 4 - Fotografia dos detalhes dos biorreatores.....	24
Figura 5 - Fotografia do material suporte (carvão ativado)	25
Figura 6 - Fotografia do material suporte (Biobob)	27
Figura 7 - Gráfico com valores de cor aparente da água bruta, R1 e R2.....	30
Figura 8 - Gráfico com porcentagens de remoção de Cor aparente em R1 e R2	31
Figura 9 - Gráfico com valores de turbidez da água bruta, R1 e R2	32
Figura 10 - Gráfico com porcentagens de remoção de turbidez em R1 e R2.....	33
Figura 11 - Gráfico com valores de DQO bruta, R1 e R2.....	35
Figura 12 - Gráfico com porcentagens de remoção de DQO em R1 e R2	36
Figura 13 - Carvão ativado antes e depois da formação de biofilme.....	38
Figura 14 - Biobob antes e depois da formação de biofilme	38
Quadro 1 - Classificação de poros do carvão ativado segundo a IUPAC	20
Quadro 2 - Parâmetros a serem monitorados, frequência de coleta, métodos e referências	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros do carvão ativado.....	26
Tabela 2 - Parâmetros do Biobob.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MLSS	Sólidos em Suspensão em Meio Suporte, em inglês
R1	Reator 1 (Carvão ativado)
R2	Reator 2 (Biobob)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo geral	14
2.2	Objetivos específicos	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	Características de um biofiltro	15
3.2	Princípios da remoção da matéria orgânica	15
3.3	Pontos chaves da tecnologia	16
3.3.1	Biorreator.....	16
3.3.2	Sistema de aeração.....	18
3.3.3	Materiais suporte	19
<u>3.3.3.1</u>	<u>Carvão ativado</u>	<u>19</u>
<u>3.3.3.2</u>	<u>Biobob</u>	<u>21</u>
4	MATERIAIS E METODOS	22
4.1	Instalações experimentais	22
4.1.1	Materiais suporte	25
4.2	Funcionamento do sistema	28
4.2.1	Coleta da água cinza.....	28
4.3	Etapas experimentais	28
4.3.1	Pré-operação.....	28
4.3.2	Operação.....	28
4.4	Parâmetros e métodos utilizados	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1	Processo de clarificação (Cor aparente e Turbidez)	30
5.1.1	Cor.....	30
5.1.2	Turbidez	33
5.2	Remoção de matéria orgânica (DQO)	35
5.3	Formação de biofilme nos meios suporte filtrantes	38
6	CONCLUSÃO	41
	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A gestão eficiente dos recursos hídricos é uma necessidade global, especialmente diante dos desafios crescentes relacionados à escassez de água e à necessidade de assegurar água de qualidade para as comunidades. Nesse contexto, o tratamento de água desempenha um papel crucial na garantia da saúde pública e na preservação dos ecossistemas aquáticos. Diversas tecnologias têm sido exploradas para otimizar o processo de tratamento, e entre elas, os bioreatores surgem como uma abordagem promissora.

Este trabalho concentra-se na avaliação da eficiência no tratamento de água em bioreatores, com uma análise comparativa entre o uso de carvão ativado e Biobob. A escolha desses materiais é fundamentada na busca por alternativas inovadoras e sustentáveis para a remoção de contaminantes presentes na água. Como destacado por Vymazal (2014), bioreatores têm o potencial de proporcionar um ambiente propício para a atividade microbiana, promovendo a degradação de poluentes e a melhoria da qualidade da água.

A utilização de carvão ativado em sistemas de tratamento de água é respaldada por estudos como o de Pignatello et al. (2006), que evidenciam sua eficácia na adsorção de uma ampla gama de contaminantes orgânicos. Por outro lado, a abordagem inovadora do Biobob como meio filtrante ganha destaque, baseada na pesquisa de Sanches et al. (2019), que demonstra seu potencial na remoção eficiente de poluentes emergentes.

O propósito deste estudo é contribuir para a compreensão das vantagens e desvantagens associadas ao uso de carvão ativado e Biobob em bioreatores, considerando critérios como eficiência de remoção de contaminantes. Ao analisar essas duas tecnologias, buscamos fornecer insights valiosos para profissionais da área de tratamento de água, pesquisadores e gestores ambientais, visando aprimorar a tomada de decisões no enfrentamento dos desafios relacionados à qualidade da água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Montar um sistema de dois biorreatores com meios filtrantes diferentes: carvão ativado e Biobob, monitorar e avaliar o desempenho deles no tratamento de água residuária cinza.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a eficiência do biorreatores preenchidos com os meios filtrantes diferentes para a remoção da turbidez, cor aparente e DQO;
- Comparar e correlacionar a eficiência dos dois biorreatores com os diferentes meios filtrantes;
- Avaliar visual e comparativamente o biofilme formado nos meios suporte;
- Avaliar a qualidade do efluente, considerando as normas pertinentes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Características de um biofiltro

Os biofiltros são componentes essenciais nos sistemas de tratamento de água, integrando processos físicos e biológicos para remover contaminantes. A configuração do leito do biofiltro, conforme salientado por Domingues (2005), exerce influência direta na taxa de filtração e na distribuição de microrganismos, afetando a eficiência global do sistema. Microrganismos desempenham papel central na degradação de contaminantes no biofiltro. Segundo Xavier (2008), a diversidade e atividade metabólica desses microrganismos influenciam diretamente a capacidade do biofiltro em remover compostos orgânicos, contribuindo para a eficácia do tratamento.

A escolha de materiais de suporte e meios filtrantes é crítica para otimizar a eficiência do biofiltro. Além disso, a discussão sobre meios filtrantes inclui considerações específicas sobre o carvão ativado e o BioBoB como sendo ótimos meios filtrantes. Estudos de Pecci Filho (2000) destaca a eficácia do carvão ativado na adsorção de uma ampla gama de poluentes, enquanto Assis et al. (2023) ressalta que o BioBoB, ao combinar filtração física com processos biológicos, oferece uma solução eficiente e sustentável para a remoção de contaminantes.

A busca por soluções ambientalmente sustentáveis impulsionou pesquisas sobre eficiência energética e produção de resíduos dos biofiltros. Domingues (2005) afirma que a implementação de biofiltros visa não apenas a eficiência no tratamento, mas também a minimização do impacto ambiental, tornando-os sistemas atrativos em termos de sustentabilidade.

A complexidade das características inerentes aos biofiltros é destacada, enfatizando a interação entre a estrutura, os microrganismos, os materiais de suporte e os aspectos ambientais. A compreensão dessas características é essencial para o desenvolvimento e aprimoramento contínuo desses sistemas.

3.2 Princípios da remoção da matéria orgânica

A remoção eficaz da matéria orgânica é um componente crítico em diversos processos, desde o tratamento de águas residuais até a purificação de água para consumo humano. Esse subcapítulo explora os princípios fundamentais que norteiam a remoção da matéria orgânica, considerando as implicações tanto ambientais quanto

de saúde pública. Uma das formas de quantificar a matéria orgânica é através da análise de DQO (BARBOSA, 2006).

A decomposição da matéria orgânica é um fenômeno complexo, envolvendo a ação de microorganismos que degradam compostos orgânicos em formas mais simples. Conforme destacado por Silva Filho (2003), "a matéria orgânica em águas pode ser uma fonte significativa de poluentes, contribuindo para a proliferação de microorganismos patogênicos e impactando a qualidade da água".

A eficácia na remoção da matéria orgânica depende de vários fatores, incluindo a escolha do método de tratamento. Como mencionado por Stain (2020), "diferentes processos, como coagulação-floculação, filtração e tratamento biológico, podem ser empregados com o objetivo de remover a matéria orgânica presente na água". Esses métodos têm variações em suas capacidades de remoção, exigindo uma abordagem personalizada com base nas características específicas da água a ser tratada.

Além disso, é crucial considerar a formação de subprodutos durante o processo de remoção da matéria orgânica. De acordo com Stain (2020), "alguns métodos de tratamento podem resultar na formação de subprodutos indesejados, como trihalometanos, que têm implicações na saúde humana". Assim, a escolha do método deve ser cuidadosamente avaliada, levando em conta não apenas a eficácia na remoção da matéria orgânica, mas também os potenciais impactos adversos.

Em resumo, compreender os princípios da remoção da matéria orgânica é essencial para o desenvolvimento de sistemas de tratamento de água eficazes e sustentáveis. Esses princípios, baseados em evidências científicas, fornecem a base para a seleção adequada de métodos de tratamento, considerando tanto a eficiência na remoção quanto os impactos ambientais e de saúde pública associados.

3.3 Pontos chaves da tecnologia

3.3.1 Biorreator

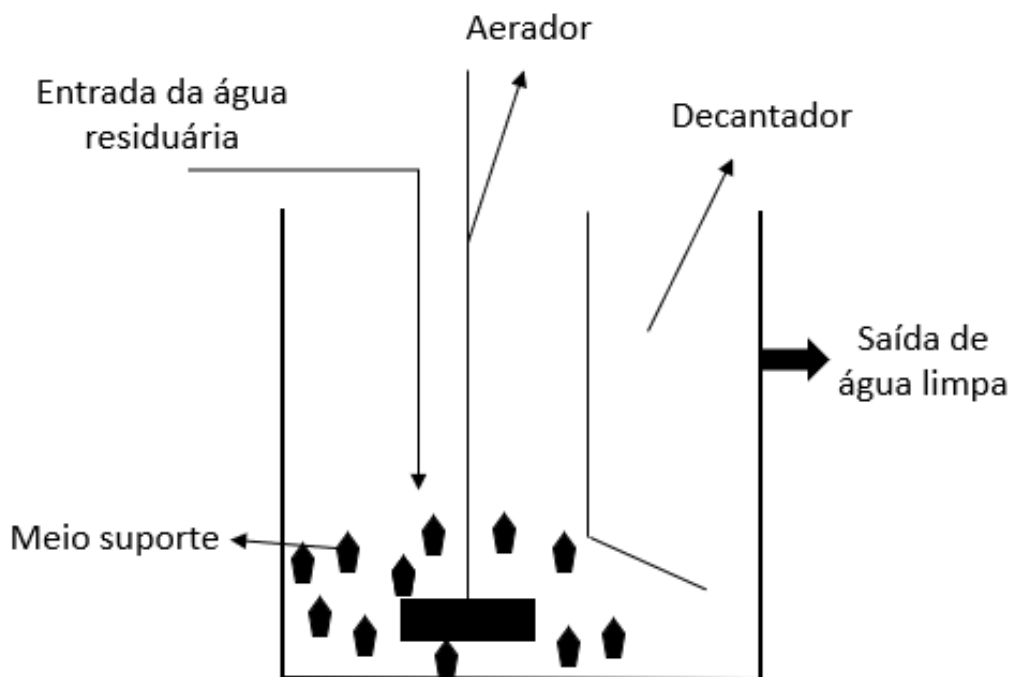
Os biorreatores representam uma peça fundamental na engenharia de processos biotecnológicos, desempenhando um papel crucial na produção de compostos de interesse em diversas áreas, como farmacêutica, alimentícia e ambiental. O termo "biorreator" refere-se a sistemas que promovem a cultura e o crescimento de microorganismos ou células animais em condições controladas,

proporcionando um ambiente propício para a expressão e produção de biomoléculas específicas.

Segundo Zaiat (2003), os biorreatores são dispositivos projetados para fornecer condições ideais de temperatura, pH, aeração e agitação, permitindo assim o cultivo eficiente de células para a produção de produtos biotecnológicos. Esses sistemas são essenciais para otimizar o rendimento e a qualidade dos produtos finais, garantindo um ambiente controlado para o desenvolvimento celular.

Um aspecto crucial na aplicação de biorreatores é a escolha adequada do tipo de biorreator, que pode variar de acordo com o tipo de células ou microorganismos utilizados. De acordo com Zaiat (2003), biorreatores de tanque agitado (Figura 1), biorreatores de leito fixo e biorreatores de membrana são exemplos comuns, cada um apresentando vantagens específicas em diferentes contextos de produção.

Figura 1: Esquema típico de um biorreator de tanque agitado



Fonte: Autoria própria

A evolução tecnológica na área de biorreatores tem sido notável, com o desenvolvimento de biorreatores de alta tecnologia, como os de perfusão celular, que permitem um controle mais preciso das condições de cultivo, resultando em maior produtividade e qualidade do produto final (Subtil et al., 2013).

Em síntese, os biorreatores desempenham um papel crucial na otimização de processos biotecnológicos, oferecendo um ambiente controlado para o crescimento celular e a produção de compostos de interesse. A escolha adequada do tipo de biorreator e a implementação de tecnologias avançadas têm impacto direto na eficiência e na qualidade dos resultados obtidos, destacando a importância contínua da pesquisa e inovação nessa área.

3.3.2 Sistema de aeração

No contexto de tratamento de água residuárias, o sistema de aeração assume um papel crucial para otimizar o processo de remoção de poluentes e promover a sustentabilidade nos sistemas de tratamento de água.

O princípio básico do sistema de aeração reside na introdução controlada de oxigênio no meio aquático, promovendo condições propícias para a atividade microbiana aeróbia. A presença de oxigênio dissolvido estimula a formação de biofilmes, essenciais para a remoção eficiente de contaminantes (Junior et al., 2014).

Diversas abordagens e tecnologias foram desenvolvidas para implementar sistemas de aeração em diferentes contextos de tratamento de águas residuárias. Tipologias comuns incluem sistemas de aeração por difusores, aeradores de superfície e sistemas mecânicos (Souza et al., 2021).

Os sistemas de aeração por difusores dispersam bolhas de ar finamente divididas no meio líquido, promovendo uma área de contato eficiente entre o oxigênio e os micro-organismos (Souza et al., 2021). Aeradores de superfície operam pelo contato direto do ar atmosférico com a água residuária, promovendo transferência de oxigênio por meio de agitação e difusão na interface ar-água. Sistemas mecânicos, como turbinas e bombas injetoras de ar, oferecem flexibilidade no ajuste das taxas de aeração, sendo eficazes em condições adversas (Souza et al., 2021).

A compreensão dos fundamentos e tipologias do sistema de aeração é crucial para a seleção e implementação adequadas dessas tecnologias no tratamento de águas residuárias. A próxima seção abordará os impactos ambientais e econômicos associados ao uso desses sistemas, contribuindo para uma visão abrangente de sua aplicabilidade e eficiência.

3.3.3 Materiais suporte

3.3.3.1 Carvão ativado

O carvão ativado é uma substância composta unicamente por carbono, apresentando-se em uma forma microcristalina e com uma quantidade significativa de poros, resultado do processo de pirólise, que tem como objetivo principal aumentar a sua porosidade interna. Após passar pelo processo de ativação, o carvão adquire uma porosidade interna com uma rede de canais interconectados. A porosidade do carvão ativado é classificada em microporosidade, mesoporosidade e macroporosidade, dependendo do tamanho dos poros (CLAUDINO e MINOZZO, 2000).

Geralmente, é possível submeter qualquer material com uma alta concentração de carbono ao processo de ativação. Dentre os materiais mais utilizados na fabricação de carvão ativado, encontram-se o nó de pinho, cascas de coco, cascas de arroz e cascas de nozes, bem como carvões minerais como antracito, betuminoso e linhito, madeiras, turfas, resíduos de petróleo, ossos de animais, caroços de pêssigo, damasco, amêndoa, ameixa e azeitona, além de grãos de café e outros materiais carbonáceos (CLAUDINO e MINOZZO, 2000).

A grande maioria dos materiais com elevada concentração de carbono apresenta porosidade interna com uma área superficial que varia entre 10 e 15 m²/g. Quando esses materiais passam pelo processo de pirólise ou ativação, ocorre a oxidação dos átomos de carbono, levando a um aumento significativo da área superficial, que pode chegar a valores superiores a 800 m²/g após o procedimento (CLAUDINO e MINOZZO, 2000).

Embora todos os carvões ativados possuam micro, meso e macroporos em sua estrutura, a proporção relativa desses poros varia consideravelmente de acordo com o material precursor e o método de fabricação empregado.

A velocidade de adsorção é a taxa na qual um adsorvente/carvão remove um determinado contaminante da solução, e é um aspecto importante a ser considerado ao projetar sistemas de tratamento de águas residuárias que utilizam carvão ativado como meio de remoção de poluentes.

Diversos fatores podem influenciar a velocidade de adsorção do carvão ativado, como a área superficial do carvão ativado. Dessa forma, nota-se que quanto maior a área superficial do adsorvente, maior será a eficiência de remoção, se não houver limitações de ordem cinética. Além disso, outros fatores influenciam a

adsorção do material, como a temperatura, pH do meio, natureza e concentração do adsorvente, entre outros (FOUST et al., 1982).

A porosidade dos carvões ativados é um aspecto fundamental para entender suas propriedades e aplicações. A International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) estabeleceu diretrizes para a caracterização da porosidade dos materiais, incluindo carvões ativados.

De acordo com a IUPAC, a porosidade dos carvões ativados é caracterizada por três tipos principais de poros: poros macroporosos, poros mesoporosos e poros microporosos (Quadro 1).

Quadro 1: Classificação de poros do carvão ativado segundo a IUPAC

Tipo de poro	Diâmetro médio	Função principal
Microporos	< 2nm	Contribuem para a maioria da área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns.
Mesoporos	2nm << 50nm	São importantes para a adsorção de moléculas grandes tais como corantes e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
Macroporos	> 50nm	São normalmente considerados sem importância para a adsorção e sua função é servir como meio de transporte para as moléculas gasosas.

Fonte: IUPAC, 1982

A caracterização da porosidade dos carvões ativados de acordo com as diretrizes da IUPAC é realizada por meio de técnicas como a adsorção de nitrogênio, que mede a quantidade de nitrogênio adsorvido em função da pressão. A partir desses dados, é possível determinar a área superficial específica dos carvões ativados e a distribuição de tamanho dos poros.

Em resumo, a porosidade dos carvões ativados é uma característica essencial que determina suas propriedades de adsorção e sua capacidade de remover contaminantes. A IUPAC fornece diretrizes para a caracterização da porosidade desses materiais, permitindo uma avaliação mais precisa de suas características e desempenho.

O carvão também pode ser classificado quanto a sua forma. A expressão "poro aberto" ou "poro fechado" é utilizada para descrever espaços vazios em

materiais sólidos. O termo "poro aberto" refere-se a espaços vazios que estão conectados à superfície externa, enquanto o termo "poro fechado" refere-se a um espaço vazio isolado. Quando um poro aberto permite o fluxo de um fluido, ele é chamado de "poro de transporte", embora possa conter ramificações que não contribuem para o processo de transporte.

3.3.3.2 Biobob

O Biobob é um material basicamente formada por uma espuma de poliuretano envolvida em uma estrutura vazada de polietileno de alta densidade, com geometria cilíndrica que pode variar de diâmetro, altura, porosidade e sua massa seca.

Assis et. al (2023) monitorou um reator de leito fixo em meio suporte BIOBOB® e concluiu que “usando Biobob® como meio suporte, se mostrou resiliente nas adversidades habituais que podem ocorrer em escala piloto, demonstrando sua viabilidade de sua utilização”. Por sua forma e capacidade de absorção de material orgânica e capacidade de formação de biofilme espera-se obter bons resultados.

4 MATERIAIS E METODOS

O experimento foi montado no laboratório S003 da UTFPR- Londrina (Figura 2).

Figura 2: Localização da instalação do experimento

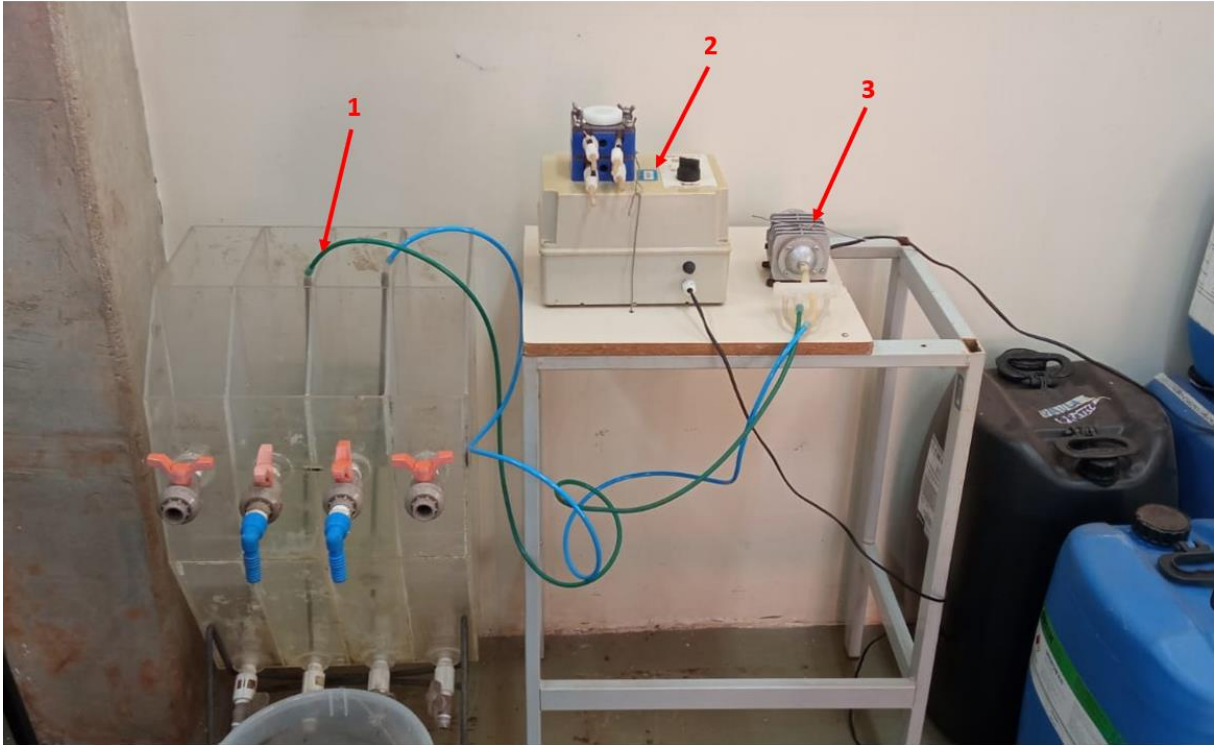


Fonte: Autoria própria

4.1 Instalações experimentais

Os testes foram realizados em dois biorreatores aeróbios de fluxo contínuo. O sistema foi construído em acrílico constando de tanque de aeração de aproximadamente 7,5 L de volume útil e decantador, sistema de aeração e bomba dosadora de água residuária (Figura 3).

Figura 3: Imagem do sistema completo

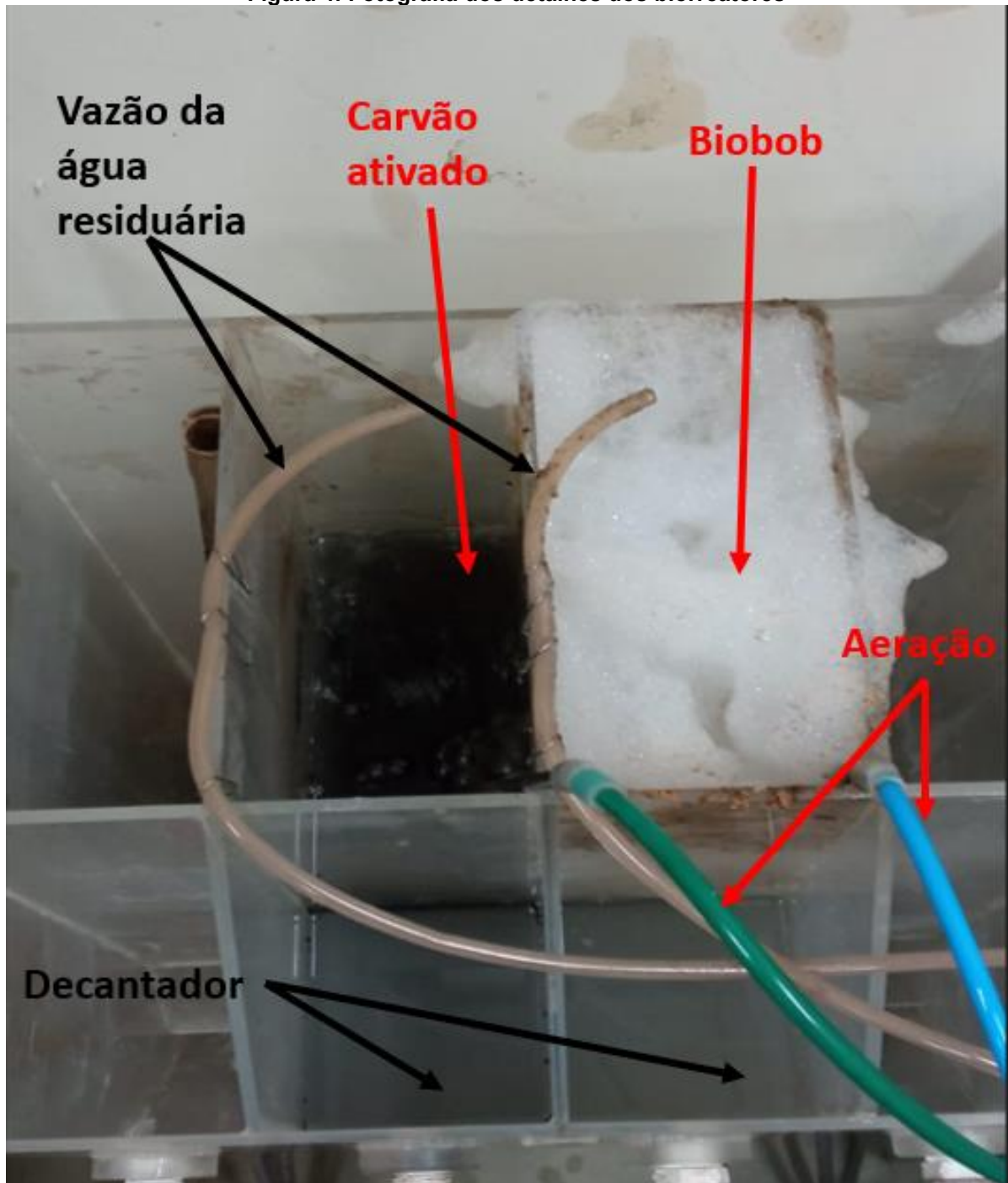


**Legenda: 1 – Dois biorreatores um com carvão ativado e outro com Biobob, 2 – Bomba dosadora de água residuária, 3 - Compressor para aeração e mistura na zona de reação
Fonte: Autoria própria**

A bomba dosadora usada é da marca PROVITEC, modelo Polycanal 2. A vazão utilizada pela bomba dosadora foi de aproximadamente $0,3125 \text{ L.h}^{-1}$. O compressor de ar utilizado para experimento é da marca BOYU, modelo ACQ – 001.

A partida do reator ocorreu sem a introdução de inóculo, com o intuito de avaliar o potencial do meio suporte na formação do biofilme a partir dos microrganismos presentes na água residuária a ser tratada. Na Figura 4 pode-se observar alguns detalhes do biofiltro.

Figura 4: Fotografia dos detalhes dos biorreatores



Fonte: Autoria própria

A alimentação do reator foi feita com vazão de $0,3125 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, proporcionando um TDH de 24 h. O volume de meio suporte adicionado ao reator foi de 3,5 L, ocupando 50% do volume útil da zona de reação. A frequência, os métodos e as referências foram informadas no tópico 4.4.

4.1.1 Materiais suporte

Para o experimento foram utilizados dois tipos distintos de material suporte. O primeiro escolhido foi o carvão ativado por ser um material amplamente indicado pela literatura (Westphalen et al. 2016) (Figura 5). As características do carvão ativado utilizado no estudo estão evidenciadas na tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do carvão ativado

Parâmetros	Carvão ativado
diâmetro médio efetivo das partículas (mm)	0,89
distribuição de tamanho de partícula d10-d60 (mm)	0,53-0,85
área de superfície específica (m ² .g ⁻¹)	1096 ± 14
diâmetro médio do poro (Angstrom)	21 ± 1
tamanho total dos poros (cm ³ .g ⁻¹)	0,5690 ± 0,0002
distribuição do tamanho dos poros (%) (micro, meso, macroporo)	27,5%-71,5%-1%
ponto de carga zero - pH _{pcz}	3,4
pH	7,1 ± 0,1
Densidade aparente (g.cm ⁻³)	0,51 ± 0,01
Condutividade (μS.cm ⁻¹)	28 ± 0,36
Umidade (%)	2,07 ± 0,07
Quantidade de cinzas (%)	19,21 ± 0,13

Figura 5: Fotografia do material suporte (carvão ativado)



Fonte: Autoria propria

O segundo material suporte escolhido foi o Biobob, uma opção menos difundida em comparação ao carvão ativado, porém com bons resultados no tratamento de água residuária (Assis et al, 2023) (Figura 6). As características do Biobob utilizado no estudo estão evidenciadas na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros do Biobob

Parâmetros	Biobob
Diâmetro (mm)	45
Comprimento (mm)	60
Área superficial total ($m^2.m^{-3}$)	94000
Porosidade do leito (%)	70
Material	PEAD e PU

Figura 6: Fotografia do material suporte (Biobob)

Fonte: Autoria própria

4.2 Funcionamento do sistema

A operação do biorreator era conduzida de forma mecanizada. Os recipientes destinados à coleta da água proveniente da lavagem de roupas tinham uma capacidade de aproximadamente 50 litros cada. A mesma água era compartilhada entre os dois biorreatores, sendo que cada um consumia 7,5 litros diariamente. Isso resultava em um consumo total de cerca de 15 litros de água residuária por dia, o que significava que cada barril durava um pouco mais de 3 dias. Quando esgotado, o barril era substituído manualmente para assegurar a continuidade do sistema.

4.2.1 Coleta da água cinza

A água residuária foi coletada a partir das lavagens de roupas da residência do autor. Eram realizadas em média 2 coletas por semanas, dependendo da necessidade.

4.3 Etapas experimentais

4.3.1 Pré-operação

Inicialmente, ocorreu a montagem completa do sistema com posterior circulação de água limpa para identificar possíveis defeitos. Uma vez confirmado o pleno funcionamento, foi efetuado o preenchimento dos dois biorreatores com os meios de suporte e a água residuária e posteriormente as medições e análises.

4.3.2 Operação

Com o sistema operando, procedia-se à coleta das amostras, abrangendo a água bruta, a água tratada com carvão ativado (R1) e a água tratada com Biobob (R2). Após obter as amostras, realizavam-se as medições de cor, turbidez e DQO.

4.4 Parâmetros e métodos utilizados

A avaliação dos reatores ocorreu por meio do monitoramento dos parâmetros nos diferentes pontos (água residuária bruta e efluente de cada reator). Os parâmetros que serão monitorados, a frequência, o método e as referências estão no Quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros a serem monitorados, frequência de coleta, métodos e referências.

Parâmetros	Frequência	Método	Referência
Cor aparente	2x por semana	2540 B	(APHA, 2012)
Turbidez		2540 B	
DQO		5220 A	

Fonte: Autoria Própria

Os cálculos da Demanda Química de Oxigênio (DQO) foram baseados nas leituras registradas pelo aparelho, as quais foram empregadas na seguinte fórmula para a sua determinação:

$$\text{DQO (mg/L)} = ((2395,8 \times L) + 14,205) \text{ (equação 1)}$$

Sendo:

L= O valor de absorvância na leitura do aparelho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Processo de clarificação (Cor aparente e Turbidez)

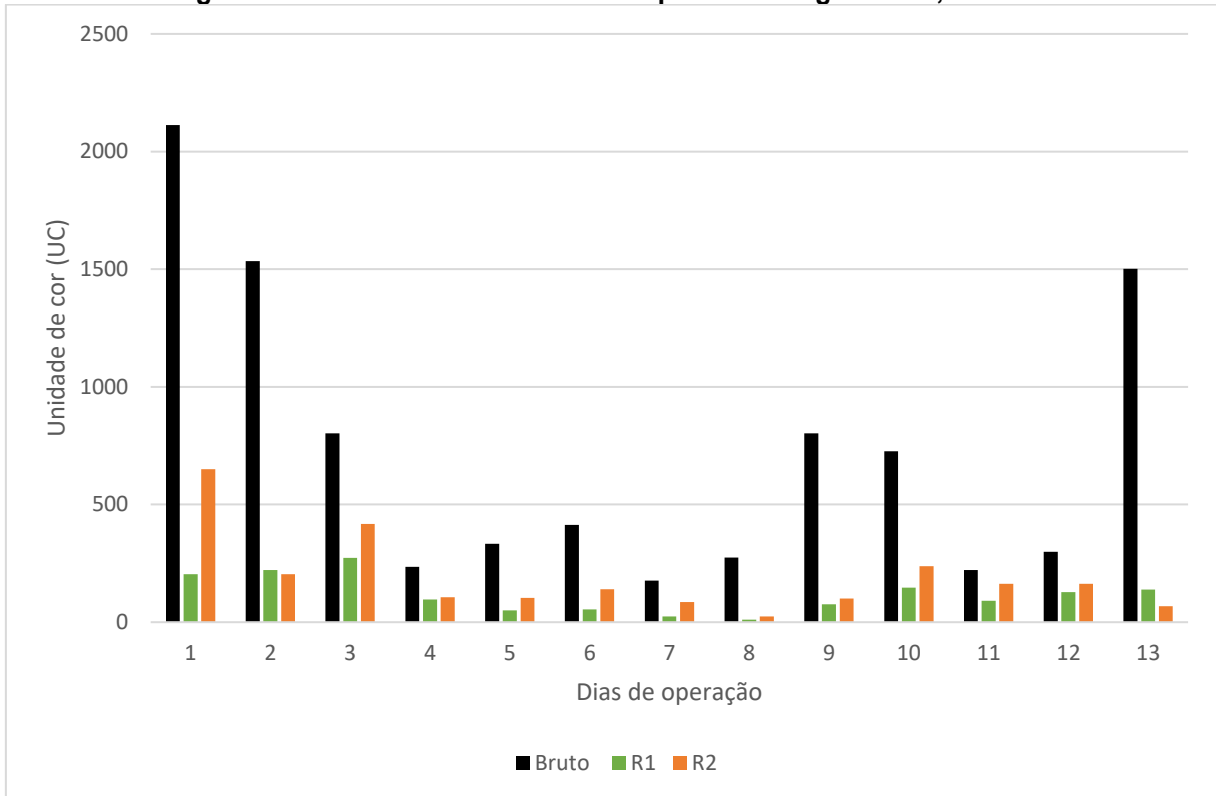
Conforme destacado por Pizzo, Matheus (2019), o carvão ativado, enquanto material filtrante, exibe um notável potencial na remoção eficaz de cor aparente e turbidez devido às suas propriedades únicas. Este material demonstra uma capacidade significativa para adsorver impurezas presentes na água, proporcionando assim uma eficiente clarificação. Sua estrutura porosa e elevada área superficial contribuem para a retenção de partículas indesejadas, resultando em uma água tratada com características visivelmente melhoradas.

De acordo com Assis et al. (2023), o Biobob emerge como um material inovador e revela-se promissor na capacidade de clarificação de águas residuárias. Este composto, cujas propriedades singulares estão apenas começando a ser desvendadas, demonstra de maneira notável a eficácia em proporcionar resultados expressivos no processo de purificação. O estudo realizado por Assis e colaboradores destaca o potencial significativo do Biobob, apontando para uma valiosa contribuição no campo da gestão de águas residuais, enfatizando sua notável capacidade de melhorar a qualidade desses recursos hídricos.

5.1.1 Cor

No que diz respeito à cor aparente presente no efluente de água bruta provenientes de máquinas de lavar domésticas, Mendonça (2019) observou valores entre 500 e 1700 UC, já Rampelotto (2014) observou valores entre 450 e 2000 UC. Os valores de cor aparente média na água cinza bruta, efluente com carvão ativado (R1) e efluente com o Biobob (R2), são apresentados em tabela no anexo 1 e em gráfico na figura 7 para melhor entendimento.

Figura 7: Gráfico com valores de cor aparente da água bruta, R1 e R2

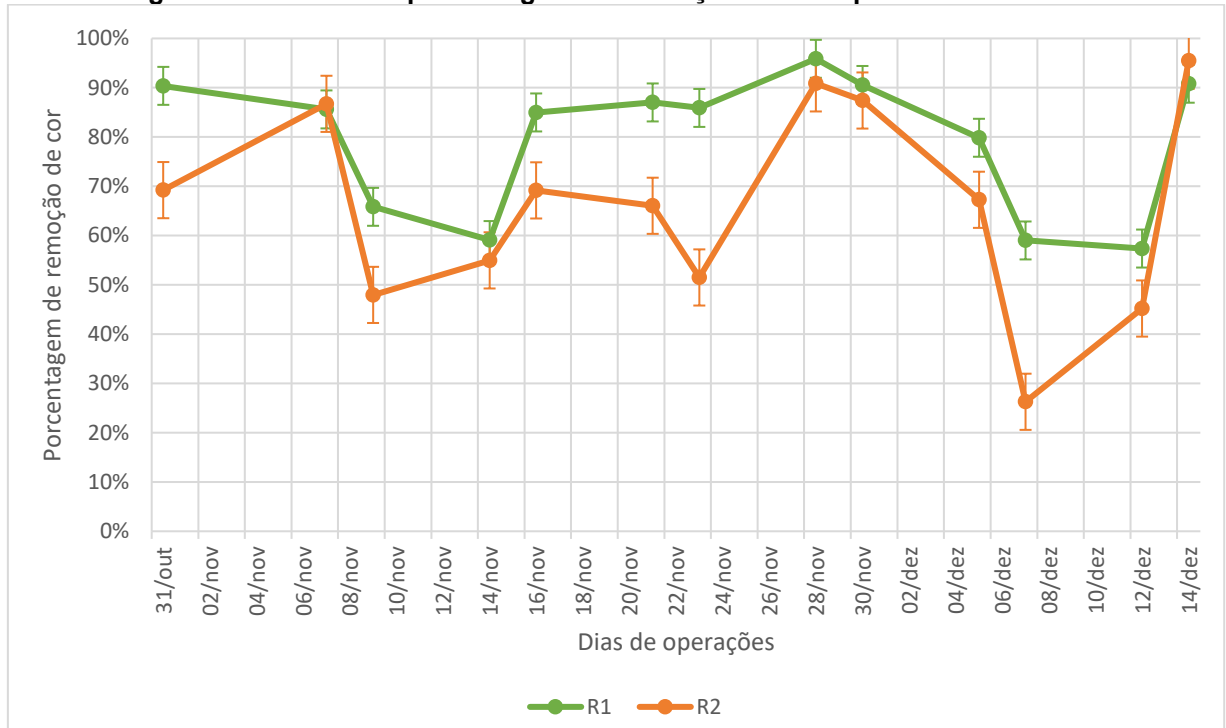


Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar a água residuária tratada com carvão ativado (R1) que o dia de maior coloração registrado foi o 09 de novembro, com uma média de $274 \pm 1,3$ UC, enquanto o dia de menor coloração foi o 28 de novembro, com uma média de $11,33 \pm 0,4$ UC.

Já a água residuária tratada com o Biobob (R2) vale ressaltar que o dia de maior coloração registrado foi o 31 de outubro, com uma média de $650 \pm 8,4$ UC, valor muito acima do aceito pela norma Conama 430 para lançamento, enquanto o dia de menor coloração foi o 28 de novembro, com uma média de $25 \pm 0,7$ UC.

Como os valores de cor aparente da água cinza bruta variaram bastante, para um entendimento do processo de clarificação foi utilizado a porcentagem de remoção da cor aparente durante os ensaios. Essas porcentagens são apresentadas em tabela no anexo 2 em forma de gráfico na figura 8.

Figura 8: Gráfico com porcentagens de remoção de Cor aparente em R1 e R2

Fonte: Autoria propria

Como foi observado no gráfico acima, o resultado médio da remoção de cor aparente em R1 foi de $79,41 \pm 11,74\%$, já o resultado médio de remoção em R2 foi de $66,01 \pm 16,02\%$. Desse modo os resultados foram melhores para a água cinza tratada em R1, a que tinha o meio suporte de carvão ativado granular, do que a água cinza tratada em R2. Porém ambas obtiveram bons resultados.

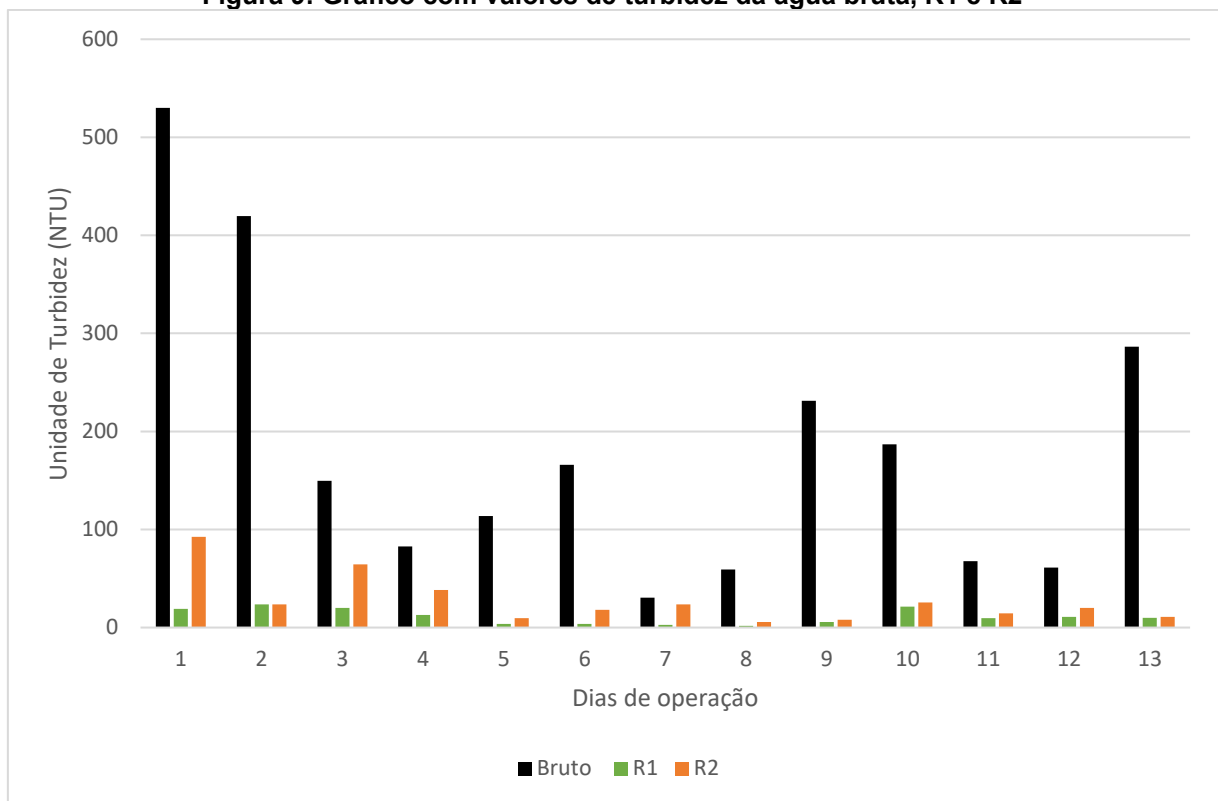
Comparando com os resultados obtidos por Mendonça (2019), que foi de aproximadamente 89% de remoção de cor aparente com o carvão ativado. Rampelotto (2014) obteve resultado de remoção de cor de cerca de 87%. O resultado obtido nesse estudo foi bem próximo aos dos autores.

O melhor e o pior resultado em relação a porcentagem de remoção de cor aparente em R1 ocorreu no dia 28 de novembro com cerca de 96% e no 12 de dezembro com 57,4% de remoção de cor aparente da água residuária, respectivamente. Já o melhor e o pior resultado em relação a porcentagem de remoção em R2 ocorreram nos dias 14 de dezembro com cerca de 95,5% e no dia 7 de dezembro com cerca de 26,3% de remoção de cor aparente da água residuária, respectivamente.

5.1.2 Turbidez

No que diz respeito à turbidez presente em águas cinzas provenientes de máquinas de lavar domésticas, Mendonça (2019) observou valores entre 112 e 500 NTU, já Rampelotto (2014) observou valores entre 100 e 650 NTU. Os valores de turbidez na água bruta, efluente com carvão ativado (R1) e efluente com o Biobob (R2), são apresentados em tabela no anexo 3 e em gráfico na figura 9 para melhor entendimento.

Figura 9: Gráfico com valores de turbidez da água bruta, R1 e R2



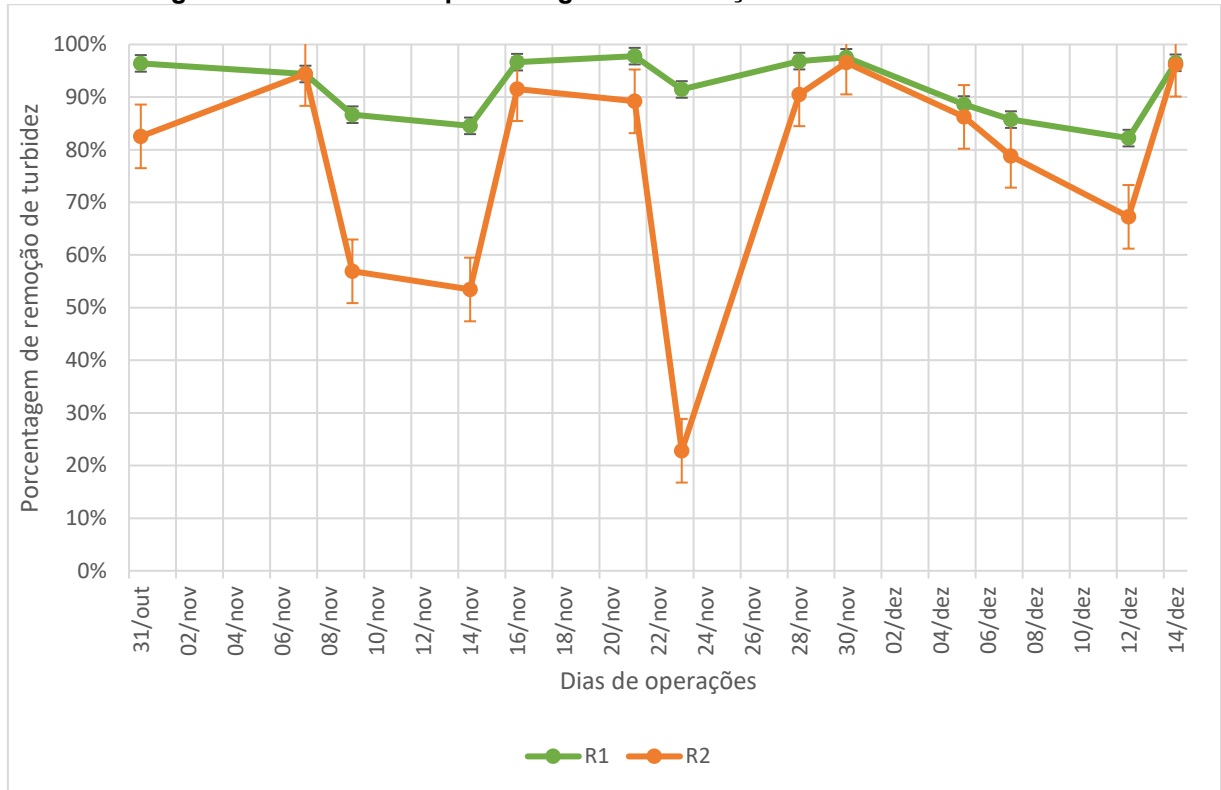
Fonte: Autoria própria

Vale ressaltar que em R1 o dia de maior turbidez registrado foi o 07 de novembro, com uma média de $23,53 \pm 0,22$ NTU, enquanto o dia de menor turbidez foi o 28 de novembro, com uma média de $1,87 \pm 0,24$ NTU. Já para a água residuária tratada com o Biobob (R2) vale ressaltar que o dia de maior turbidez registrado foi o 31 de outubro, com uma média de $92,53 \pm 1,44$ NTU, enquanto o dia de menor turbidez foi o 28 de novembro, com uma média de $5,6 \pm 0,17$ NTU.

Como os valores de turbidez da água bruta variaram bastante, foi levado em consideração as porcentagens de remoção de turbidez nas águas tratadas, do mesmo

modo que foi feito para cor. Essas porcentagens são apresentadas em forma de gráfico na figura 10 (os dados brutos estão organizados em tabelas no anexo 4).

Figura 10: Gráfico com porcentagens de remoção de turbidez em R1 e R2



Fonte: Autoria própria

Como foi observado no gráfico acima, o resultado médio da remoção em R1 foi de $91,95 \pm 5,00\%$, já o resultado médio de remoção em R2 foi de $77,41 \pm 16,81\%$. Desse modo os resultados foram melhores para a água tratada em R1, a que tinha o meio suporte de carvão ativado granular, do que a água tratada em R2. Porém ambas obtiveram bons resultados.

Comparando com os resultados obtidos por Mendonça (2019), que foi de aproximadamente 95% de remoção de turbidez com o carvão ativado. Rampelotto (2014) obteve resultado de remoção de turbidez de cerca de 94%. O resultado obtido nesse estudo foi bem próximo aos dos autores.

O melhor e o pior resultado em relação a porcentagem de remoção em R1 ocorreu nos dias 30 de novembro com cerca de 97,6% e no 12 de dezembro com 82,21% de remoção de turbidez da água residuária, respectivamente. Já o melhor e o pior resultado em relação a porcentagem de remoção em R2 ocorreram nos dias 30

de novembro com cerca de 96,56% e no dia 23 de novembro com cerca de 22,81% de remoção de turbidez da água residuária, respectivamente.

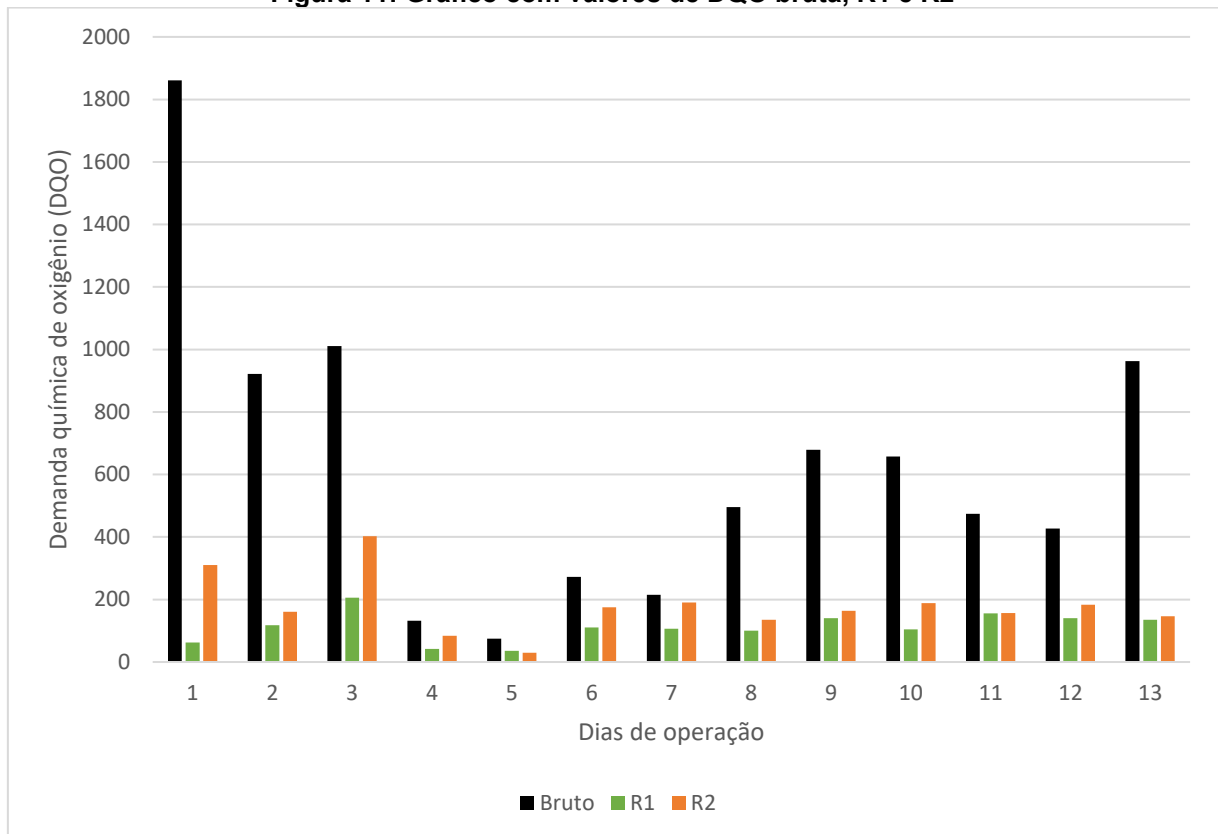
Para a remoção de turbidez das águas residuárias houve uma vantagem para a água que tinha o carvão ativado granular como meio suporte. Mostrando-se superior tanto em remoção de cor, quanto para remoção da turbidez, que são parâmetros usados para avaliar, por exemplo o reuso da água residuária. Essa vantagem para o carvão ativado se dá devido a sua alta capacidade de absorver sólidos dissolvidos e reter sólidos suspensos, que influenciam na cor aparente e turbidez, respectivamente (Xavier, 2008).

5.2 Remoção de matéria orgânica (DQO)

As máquinas de lavar domésticas geram grandes volumes de água residuária proveniente das etapas de lavagem, como enxágue, amaciamento, entre outros. Durante algumas destas etapas, com a utilização de produtos químicos para a limpeza dos tecidos, a água utilizada no processo é contaminada com surfactantes, por exemplo, além de possuir uma alta DQO (Pizzo, 2019). No que diz respeito à matéria orgânica presente na água cinza provenientes de máquinas de lavar domésticas, Mendonça (2019) observou valores de DQO entre 280 e 890 mg/L.

Desse modo o tratamento de água cinza proveniente de máquinas de lavar domésticas se faz importante para o reuso ou descarte correto do mesmo. Os valores de DQO bruta e DQO das águas tratadas R1 e R2, são apresentados na figura 11 (dados brutos estão em tabela no anexo 5).

Figura 11: Gráfico com valores de DQO bruta, R1 e R2



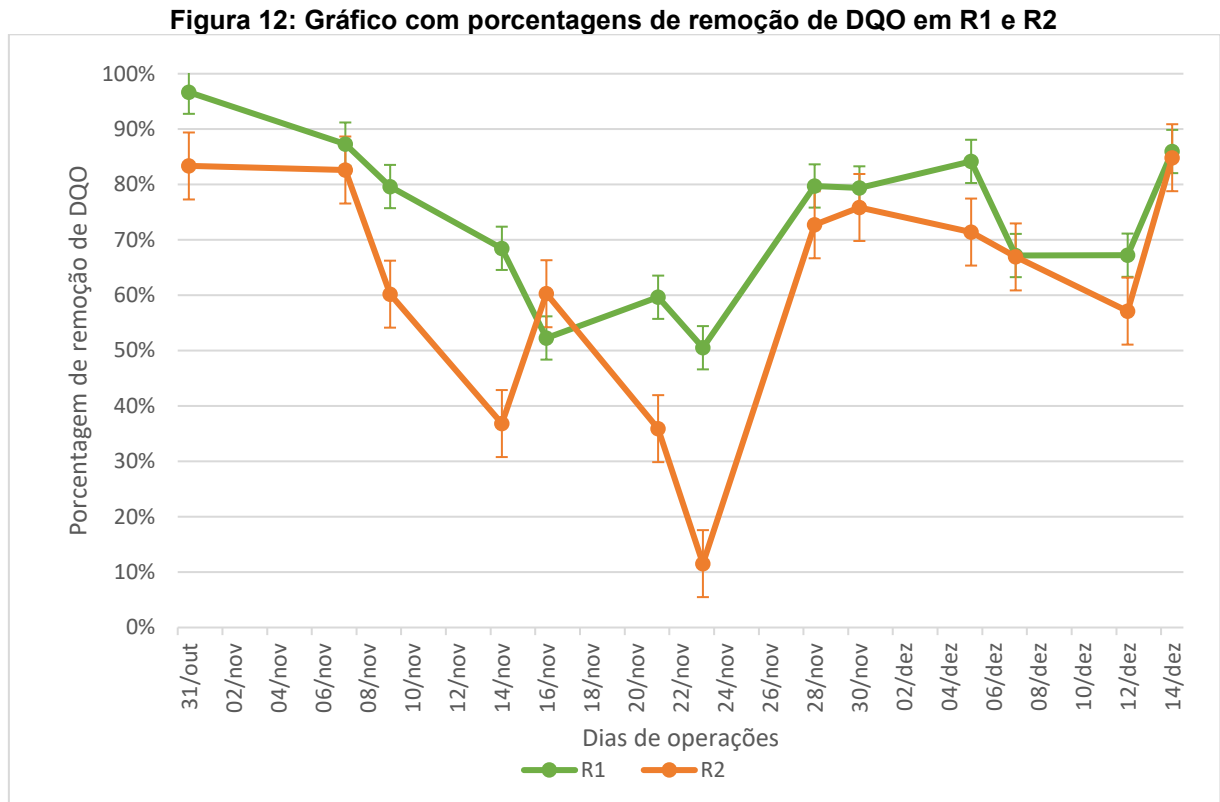
Fonte: Autoria própria

De acordo com resolução CEMA 070/09 - Anexo 7 o padrão de emissão estipulado para DQO visando devolver a água ao ambiente é de 200 mg/L. Em R1 quase todos os dias de operação obtiveram um valor de DQO abaixo de 200 mg/L, somente ultrapassado no dia 09 de novembro, de modo que respeitou o padrão estipulado para devolver a água ao ambiente. Já em R2 somente nos dias 31 de outubro e 7 de novembro os valores ficaram maiores que 200 mg/L.

Vale ressaltar que em R1 o dia de maior DQO registrado no efluente foi o 16 de dezembro, com uma média de $205,87 \pm 4,79$ mg/L, enquanto o dia de menor DQO foi o 9 de novembro, com uma média de $35,77 \pm 4,79$ mg/L. Já para a água cinza tratada com o Biobob (R2) vale ressaltar que o dia de maior DQO registrado foi o 9 de novembro, com uma média de $402,32 \pm 7,19$ mg/L, valor muito acima do aceito pela norma, enquanto o dia de menor DQO foi o 16 de novembro, com uma média de $29,78 \pm 10,78$ mg/L.

Para um melhor entendimento dos resultados foram levados em conta as porcentagens de remoção de DQO da água bruta. Essas porcentagens são

apresentadas na figura 12 (dados brutos estão organizados em uma tabela no anexo 6).



Fonte: Autoria própria

Como foi observado no gráfico acima, o resultado médio da remoção de DQO em R1 foi de $73,70 \pm 11,80\%$, já o resultado médio de remoção em R2 foi de $61,50 \pm 16,14\%$. Desse modo os resultados foram melhores para a água tratada em R1, a que tinha o meio suporte de carvão ativado granular, do que a água tratada em R2. Porém ambas obtiveram bons resultados.

Comparando com os resultados obtidos por Mendonça (2019), que foi de aproximadamente 85% de remoção de DQO com o carvão ativado. O resultado obtido nesse estudo foi um pouco inferior, porém ainda foi um bom resultado.

O melhor e o pior resultado em relação a porcentagem de remoção em R1 ocorreu nos dias 31 de outubro com cerca de 96,66% e no 23 de novembro com 50,52% de remoção de DQO da água cinza, respectivamente. Já o melhor e o pior resultado em relação a porcentagem de remoção em R2 ocorreram nos dias 14 de dezembro com cerca de 84,83% e no dia 23 de novembro com cerca de 11,53% de remoção de DQO da água cinza, respectivamente.

A eficácia na redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no efluente R1 permaneceu predominantemente elevada, devido a alta capacidade do carvão ativado granular em remoção de matéria orgânica de águas residuárias (Xavier, 2008).

5.3 Formação de biofilme nos meios suporte filtrantes

A formação de biofilmes em meios filtrantes representa um fenômeno de grande relevância no contexto de processos de tratamento de água. Ao longo do tempo de operação dos sistemas, observou-se de forma notável o surgimento dessas comunidades microbianas nos meios suportes, influenciando positivamente a eficiência do tratamento. Esta seção busca explorar a criação de biofilme nos meios filtrantes, considerando os benefícios associados a esse processo.

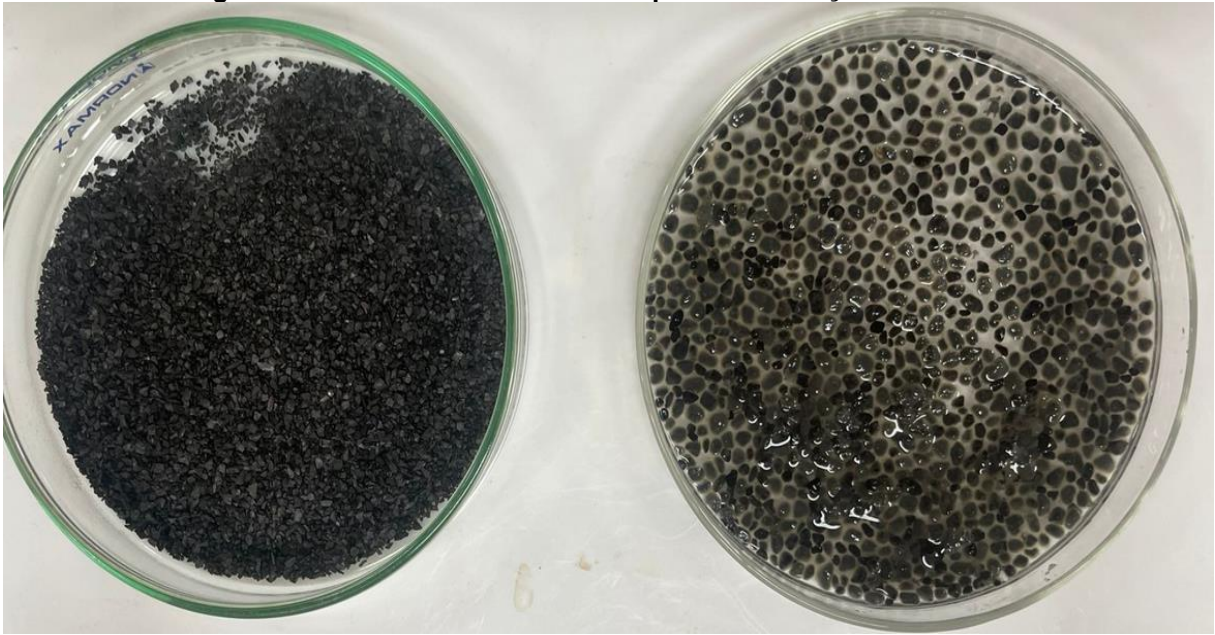
Borges et al. (2016) ressaltam que, durante experimentos similares, foi identificado que em baixas taxas de filtração, a colonização natural dos filtros por microrganismos resulta na formação de biofilmes. Essa colonização microbiana oferece uma perspectiva promissora para estender a vida útil do carvão ativado granular. Os autores destacam que o biofilme, ao se estabelecer nos meios filtrantes, pode desempenhar um papel crucial na decomposição de moléculas complexas, transformando-as em elementos minerais assimiláveis.

Assist et al. (2023) aborda que a formação do biofilme pode favorecer processos biológicos que contribuem para a degradação e remoção eficiente de substâncias orgânicas, oferecendo uma abordagem natural e sustentável. Além disso, a matriz polissacarídica do biofilme pode atuar como uma barreira protetora, prolongando a vida útil do Biobob ao minimizar a exposição a agentes de degradação.

A presença do biofilme nos meios filtrantes surge como uma alternativa estratégica para otimizar a eficiência do tratamento e, simultaneamente, aumentar a longevidade dos materiais empregados. De acordo com Borges et al. (2016), o biofilme não apenas proporciona uma barreira biológica eficaz, mas também desempenha um papel ativo na reintrodução de compostos essenciais nos ciclos biogeoquímicos naturais. Dessa forma, a criação de biofilme nos meios filtrantes emerge como uma abordagem promissora para aprimorar a sustentabilidade e eficácia dos processos de tratamento de água.

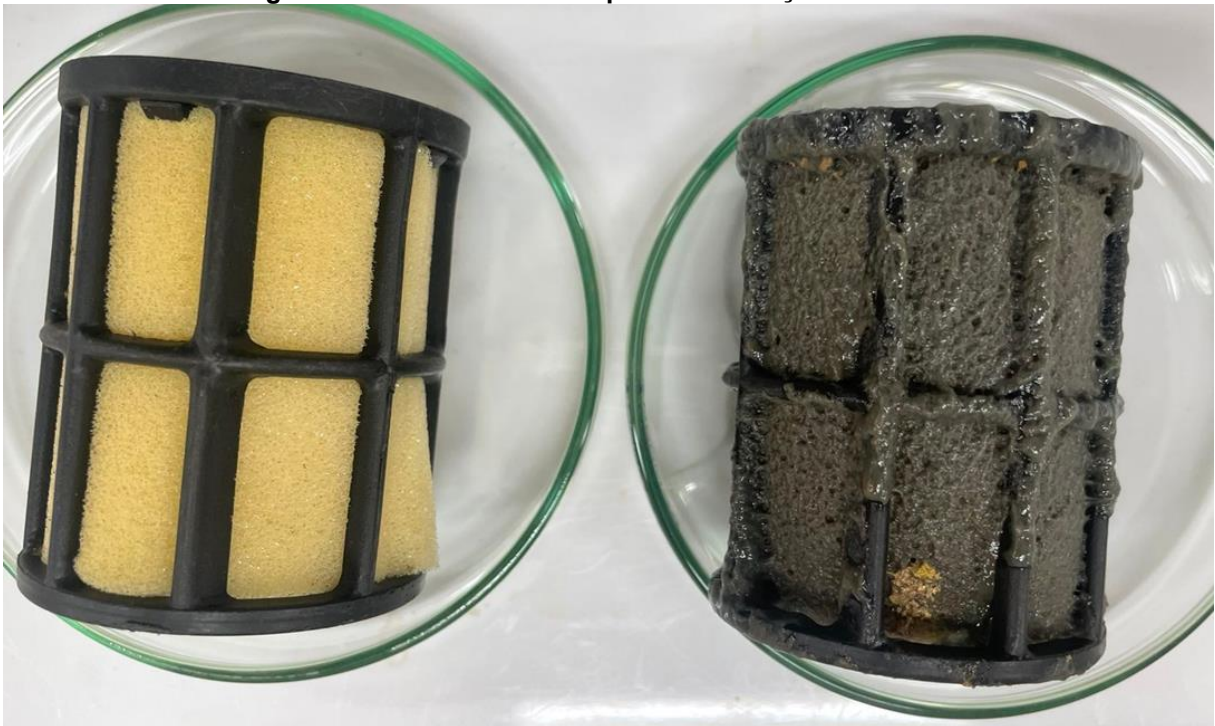
Na figura 13 podemos observar a diferença entre um o carvão ativado antes e depois da formação do biofilme. E na figura 14 podemos observar a mesma diferença no Biobob.

Figura 13: Carvão ativado antes e depois da formação de biofilme.



Fonte: Aatoria propria

Figura 14: Biobob antes e depois da formação de biofilme



Fonte: Aatoria própria

Em sistemas de tratamento biológico, onde os microrganismos se desenvolvem e formam biofilmes no meio suporte, a relação biomassa/meio suporte geralmente é expressa como MLSS (Sólidos em Suspensão em Meio Suporte, em

inglês). A concentração de MLSS é frequentemente medida em termos de gramas de sólidos (biomassa) por litro de meio suporte.

Conforme Borges et al. (2016) para sistemas de leito fixo, como aqueles usando carvão ativado, a concentração de MLSS pode variar amplamente, mas valores típicos podem estar na faixa de 5 a 20 gramas de MLSS por litro de meio suporte. Para o Biobob Os valores típicos de MLSS podem variar e geralmente estão na faixa de 5 a 30 gramas por litro de meio suporte (Assis et al. 2023).

6 CONCLUSÃO

Ao longo do estudo, observou-se a formação de biofilme nos dois meios suportes, indicando a colonização microbiana e o desenvolvimento de uma comunidade biológica que possivelmente será benéfica para o processo.

O carvão ativado demonstrou ser o meio filtrante mais eficaz nos processos de clarificação, abrangendo a redução da cor aparente e turbidez, bem como na remoção de matéria orgânica medida pela Demanda Química de Oxigênio (DQO). Em porcentagens o carvão ativado (R1) foi cerca de 12 a 15 % melhor em relação ao Biobob (R2) em todos os critérios. Esses resultados reforçam a superioridade do carvão ativado no processo de tratamento, destacando-se como a escolha preferencial para a melhoria da qualidade da água cinza.

Contudo, o Biobob demonstrou resultados promissores, e, considerando a sua durabilidade, pode ser uma escolha ponderada para a etapa de tratamento de água cinza.

REFERÊNCIAS

- AMAGUCHI, N. U et al. Sistema híbrido de carvão ativado impregnado com compostos metálicos e membrana. Florianópolis, Santa Catarina, Outubro de 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1687-18041-157268.pdf>. Acesso em: 22 maio 2023.
- ASSIS, et al. "USO DE REATOR DE LEITO FIXO EM MEIO SUPORTE BIOBOB®, OPERANDO EM ESCALA PILOTO NA REMOÇÃO DE DQO E NITROGÊNIO TOTAL DE ESGOTO SANITÁRIO". 2023. Artigo científico.
- BARBOSA, S.A. Avaliação de biofiltro aerado submerso no pós-tratamento de efluente de tanque séptico. 2006. 207 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- Borges et al. Uso de filtros de carvão ativado granular associado a microrganismos para remoção de fármacos no tratamento de água de abastecimento. Artigo científico. 2016.
- BRAGA, J.; VARESCHE, M.; Commercial Laundry Water Characterization for Anaerobic Treatment in Fluidized Bed Reactor. In: 10 Oficina e Seminário Latino Americano de Digestão Anaeróbia (DAAL), 10., 2011, Ouro Preto, MG., Anais... Ouro Preto, 2011.
- CAMPOS, José Roberto; REALI, Marco Antonio P; DANIEL, Luiz Antonio. Conceitos Gerais sobre Técnicas de Tratamento de Águas de Abastecimento, Esgotos Sanitários e Desinfecção. São Carlos, São Paulo, Setembro de 2005. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/server/api/core/bitstreams/012aa45c-c9f1-4cf8-996b2b6864eca1ea/content>. Acesso em: 27 maio 2023.
- CLAUDINO, A.; MINOZZO, A. P. Projeto de uma indústria de carvão ativado. Trabalho referente à disciplina de Projetos. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, p. 6-7, Toledo, 2000.
- CLAUDINO, Andreia. Preparação de carvão ativado a partir de trufa e sua utilização na remoção de poluentes. Florianópolis, Santa Catarina, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence>. Acesso em: 22 maio 2023.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução No 357, de 17 de março de 2005. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. 2011.
- DOMINGUES, Ligia Maria. SISTEMA COMBINADO FILTRO ANAERÓBIO - BIOFILTRADO AERADO SUBMERSO: AVALIAÇÃO DA PARTIDA E DA NITRIFICAÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, 2005.

FOUST, S. A., WENZELA, CLUMP W.C., MAUS L., ANDERSEM B.L. Princípios das Operações Unitárias, 2ª Edição, LTC - Livros Técnicos e Científicos, Editora AS, RJ, 1982.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W. Adsorption, surface area and porosity. Academic Press 2, p. 40-48, London, 1982. International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). (1985).

Junior, et al. EFICIÊNCIA DE SISTEMAS DE AERAÇÃO EM CASCATAS NO TRATAMENTO Junior, V. E. et al. DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DO CAFÉ. Artigo científico. 2014

LEITE, Luan de Souza et al. Adsorption of algal organic matter on activated carbons from alternative sources: Influence of physico-chemical parameters. Journal of Water Process Engineering, 17 jul. 2021.

Macedo, Thais. reator de leito fluidificado em escala aumentada para tratamento de água residuária de lavanderia comercial em co-digestão com esgoto doméstico: otimização das condições operacionais e caracterização taxonômica e funcional dos microorganismos do biofilme. Tese em Universidade de São Paulo Escola de engenharia de São Carlos. 2018.

MARTINS, Pedro Mouco. BIOFILTRO AERADO SUBMERSO PREENCHIDO COM BIOBOB® APLICADO AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE CAMPUS UNIVERSITÁRIO. 2014. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

Mendonça, Kenia Parente Lopes. TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZA PROVENIENTES DE LAVANDERIAS VISANDO REÚSO. 2019. Tese de mestrado da Universidade Federal do Tocantins, 2019

Oliveira, S. V. W. B. (2001) Avaliação da Degradação e Toxicidade de Formaldeído em Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Hidráulica e Saneamento – EESC/USP. 79 p.

PECCI FILHO, Rogério. Desenvolvimento de instalação de filtração com carvão ativado impregnado com prata para melhoria da qualidade da água de consumo humano. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-18042016-123625/pt-br.php>. Acesso em: 31 maio 2023.

PECCI FILHO, Rogério. Filtração em carvão ativado granular impregnado com prata para melhoria da qualidade de água de consumo humano. São Carlos, São Paulo. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Rogério-Pecchi-Filho/publication/267429380_I-0_11_-FILTRACAO_EM_CARVAO_ATIVADO_GRANULAR_IMPREGNADO_COM_PRATA_PARA_A_MELHORIA_DA_QUALIDADE_DA_AGUA_DE_CONSUMO_HUMANO/links/56d7_292a08aebabdb40302b1/I-011-FILTRACAO-EM-CARVAO-ATIVADO-GRANULAR-IMPREGNADO-COM-PRATA-PARA-A-MELHORIA-DA-QUALIDADE-DA-AGUA-DE-CONSUMOHUMANO.pdf. Acesso em: 22 maio 2023.

Pignatello, J. J., et al. (2006). Activated carbon amendments to soil preferentially adsorb dissolved organic carbon and reduce available concentrations of aqueous-phase sulfamethoxazole and sulfonamide antibiotics. *Environmental Science & Technology*, 40(8), 2458-2464.

Rampelotto, Geraldo. Caracterização e tratamento de águas cinzas visando o reúso doméstico. Programa de pós graduação em engenharia civil e Ambiental. 2014

Pizzo, Matheus. TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA PROVENIENTE DO PROCESSO DE LAVAGEM DE TECIDOS UTILIZANDO REATOR UASB. Dissertação em Universidade Federal de Alfenas. 2019.

Sanches, S., et al. (2019). Enhancement of biofiltration systems using a new natural-based material: Biobob. *Journal of Environmental Management*, 238, 1-9.

SILVA FILHO, Ernesto Batista. APLICACAO DA RESPIROMETRIA NA DETERMINACAO DA COMPOSICAO DA MATERIA ORGANICA EM ÁGUAS RESIDUARIAS. 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, 2003.

Souza, et al. Sistemas de aeração e densidades de estocagem na qualidade da água e produção de tilápia do Nilo. Artigo científico. 2021

STEIN, Vanessa. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO - QUÍMICA, DETECÇÃO DE TRIHALOMETANOS E METAIS EM ÁGUAS CLORADAS DAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO DE PINHALZINHO-SC. Trabalho de conclusão de pós-graduação, 2020

SUBTIL, et al. Biorreatores com Membranas Submersas (BRMs): alternativa promissora para o tratamento de esgotos sanitários para reúso. Artigo científico. 2013

Vymazal, J. (2014). The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a Decade of Research. *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands*, 57-68.

XAVIER, Rodrigo Navarro. Avaliação da eficiência de um reator de carvão ativado impregnado com prata no tratamento de águas residuárias geradas em laboratório de análises clínicas. Curitiba, Paraná, 2008. Disponível em: <https://repositorio.cruzeirodosul.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2345/1/Rodrigo%20Navarro%20Xavier.pdf>. Acesso em: 22 maio 2023.

Westphalen, et al. Utilização de carvão ativado biológico para o tratamento de água para consumo humano. Artigo científico. 2016

ZAIAT, Marcelo. DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE BIORREACTORES ANAERÓBICOS CONTENDO CÉLULAS IMOBILIZADORAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS. Reator anaeróbico horizontal de leito fixo. Reator anaeróbico operado em bateladas sequenciais. 2003.

Anexo 1

Data	Bruto		R1		R2	
	Faixa de variação	média ± DP	Faixa de variação	média ± DP	Faixa de variação	média ± DP
31/out	2009 a 2180	2113 ± 69,3	200 a 206	203,33 ± 2,2	642 a 663	650,33 ± 8,4
07/nov	1510 a 1555	1535 ± 16,7	220 a 222	221 ± 0,7	200 a 207	203,67 ± 2,4
09/nov	800 a 805	802 ± 2,0	273 a 276	274 ± 1,3	412 a 421	417,33 ± 3,6
14/nov	229 a 240	234,67 ± 3,8	95 a 97	96 ± 0,7	101 a 110	105,67 ± 3,1
16/nov	303 a 358	333 ± 20,0	47 a 53	50 ± 2,0	97 a 108	102,67 ± 3,8
21/nov	405 a 425	413,33 ± 7,8	50 a 57	53,67 ± 2,4	139 a 142	140,33 ± 1,1
23/nov	173 a 180	177,33 ± 2,9	23 a 27	25 ± 1,3	85 a 87	86 ± 0,7
28/nov	270 a 278	274,33 ± 2,9	11 a 12	11,33 ± 0,4	24 a 26	25 ± 0,7
30/nov	797 a 809	802 ± 4,7	72 a 80	75,67 ± 2,9	98 a 105	101 ± 2,7
05/dez	717 a 731	726 ± 6,0	140 a 150	146,33 ± 4,2	220 a 250	237,67 ± 11,8
07/dez	216 a 230	222 ± 5,3	90 a 92	91 ± 0,7	160 a 170	163,67 ± 4,2
12/dez	295 a 301	298,67 ± 2,4	121 a 131	127,33 ± 4,2	160 a 170	163,67 ± 4,2
14/dez	1480 a 1526	1502 ± 16,0	136 a 141	138 ± 2,0	67 a 69	68 ± 0,7

Anexo 2

Data	% R1	% R2
31/out	90,38	69,22
07/nov	85,60	86,73
09/nov	65,84	47,96
14/nov	59,09	54,97
16/nov	84,98	69,17
21/nov	87,02	66,05
23/nov	85,90	51,50
28/nov	95,87	90,89
30/nov	90,56	87,41
05/dez	79,84	67,26
07/dez	59,01	26,27
12/dez	57,37	45,20
14/dez	90,81	95,47
média	79,41	66,01
Desvio	11,74	16,02

Anexo 3

Data	Bruto		R1		R2	
	Faixa de variação	média ± DP	Faixa de variação	média ± DP	Faixa de variação	média ± DP
31/out	521 a 541	530 ± 7,33	18,6 a 19,4	19,03 ± 0,29	90,4 a 94,7	92,53 ± 1,44
07/nov	410 a 431	419,67 ± 7,56	23,2 a 23,8	23,53 ± 0,22	22,8 a 24,1	23,6 ± 0,53
09/nov	145 a 152	149,67 ± 3,11	19,1 a 21,2	19,97 ± 0,82	60,1 a 70,7	64,5 ± 4,13
14/nov	79 a 86,7	82,57 ± 2,76	12,5 a 12,9	12,77 ± 0,18	37,7 a 39,4	38,43 ± 0,64
16/nov	109 a 118	113,67 ± 3,11	3,05 a 4,94	3,82 ± 0,75	9,1 a 10,1	9,65 ± 0,36
21/nov	156 a 175	166 ± 6,67	3,63 a 3,74	3,69 ± 0,04	17,7 a 18,1	17,93 ± 0,16
23/nov	29,9 a 31,2	30,4 ± 0,53	2,34 a 2,86	2,6 ± 0,17	22,9 a 24	23,47 ± 0,38
28/nov	57,5 a 60,5	59,13 ± 1,09	1,51 a 2,15	1,87 ± 0,24	5,4 a 5,85	5,6 ± 0,17
30/nov	187 a 263	231,33 ± 29,56	5,51 a 5,7	5,61 ± 0,07	7,8 a 8,16	7,95 ± 0,14
05/dez	168 a 198	187 ± 7,33	20 a 22,1	21,33 ± 0,89	24,7 a 26,7	25,73 ± 0,69
07/dez	65,5 a 71,2	67,73 ± 2,3	9 a 10,5	9,67 ± 0,56	14 a 14,8	14,33 ± 0,31
12/dez	60,2 a 62	61,07 ± 0,62	10 a 11,6	10,87 ± 0,58	19,5 a 20,5	20 ± 0,33
14/dez	270 a 300	286,33 ± 10,9	9,92 a 10	9,96 ± 0,03	10,9 a 11,2	11,03 ± 0,11

Anexo 4

Data	% R1	% R2
31/out	96,41	82,54
07/nov	94,39	94,38
09/nov	86,66	56,9
14/nov	84,54	53,45
16/nov	96,64	91,51
21/nov	97,78	89,2
23/nov	91,45	22,81
28/nov	96,84	90,53
30/nov	97,57	96,56
05/dez	88,59	86,24
07/dez	85,73	78,84
12/dez	82,21	67,25
14/dez	96,52	96,15
Média	91,95	77,41
Desvio	5,00	16,81

Anexo 5

Data	Bruto		R1		R2	
	Faixa de variação	média ± DP	Faixa de variação	média ± DP	Faixa de variação	média ± DP
31/out	1858,80 a 1863,59	1861,2 ± 2,40	59,73 a 64,52	62,12 ± 2,4	306,49 a 313,68	310,09 ± 3,59
07/nov	905,27 a 938,81	922,04 ± 16,77	112,43 a 122,02	117,22 ± 4,79	157,95 a 162,74	160,35 ± 2,40
09/nov	900,48 a 1120,89	1010,69 ± 110,21	162,74 a 248,99	205,87 ± 43,12	395,14 a 409,51	402,32 ± 7,19
14/nov	114,49 a 150,43	132,46 ± 17,97	26,18 a 57,33	41,76 ± 15,57	83,68 a 83,69	83,68 ± 0,00
16/nov	64,18 a 85,74	74,96 ± 10,78	30,98 a 40,56	35,77 ± 4,79	19,00 a 40,56	29,78 ± 10,78
21/nov	251,05 a 294,17	272,61 ± 21,56	102,85 a 117,22	110,04 ± 7,19	169,93 a 179,52	174,72 ± 4,79
23/nov	186,36 a 243,86	215,11 ± 28,75	86,08 a 126,81	106,44 ± 20,36	189,10 a 191,49	190,3 ± 1,20
28/nov	469,24 a 521,94	495,59 ± 26,35	98,06 a 102,85	100,45 ± 2,4	131,60 a 138,79	135,19 ± 3,59
30/nov	631,98 a 725,42	678,7 ± 46,72	136,39 a 143,58	139,98 ± 3,59	162,74 a 165,14	163,94 ± 1,20
05/dez	631,98 a 682,29	657,14 ± 25,16	102,85 a 105,25	104,05 ± 1,2	186,70 a 189,10	187,9 ± 1,20
07/dez	452,30 a 495,42	473,86 ± 21,56	124,41 a 186,70	155,56 ± 31,15	138,79 a 174,72	156,76 ± 17,97
12/dez	401,99 a 452,30	427,14 ± 25,16	131,60 a 148,37	139,98 ± 8,39	179,52 a 186,70	183,11 ± 3,59
14/dez	919,31 a 1005,56	962,43 ± 43,12	134 a 136,39	135,19 ± 1,2	134,00 a 157,95	145,97 ± 11,98

Anexo 6

Data	% R1	% R2
31/out	96,66	83,34
07/nov	87,29	82,61
09/nov	79,63	60,19
14/nov	68,47	36,83
16/nov	52,28	60,27
21/nov	59,63	35,91
23/nov	50,52	11,53
28/nov	79,73	72,72
30/nov	79,38	75,84
05/dez	84,17	71,41
07/dez	67,17	66,92
12/dez	67,23	57,13
14/dez	85,95	84,83
média	73,70	61,50
desvio	11,80	16,14