



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE



REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE FILTRO COMPOSTO
POR MATERIAIS ALTERNATIVOS

SÃO CRISTÓVÃO
FEVEREIRO/2022

ERIK SANTOS PASSOS

**REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE FILTRO COMPOSTO
POR MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Orientador: Prof. Dr. Gregório Guirado Faccioli.

**SÃO CRISTOVÃO
2022**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

P289r Passos, Erik Santos.
Reúso de águas cinzas: análise da eficiência de filtro composto por materiais alternativos / Erik Santos Passos; orientador Gregório Guirado Faccioli. – São Cristóvão, SE, 2022.
107 f.; il.

Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e meio ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2022.

1. Águas residuais. 2. Água - Reúso. 3. Água - Estações de tratamento. 4. Sustentabilidade. 5. Indicadores ambientais. I. Faccioli, Gregório Guirado, orient. II. Título.

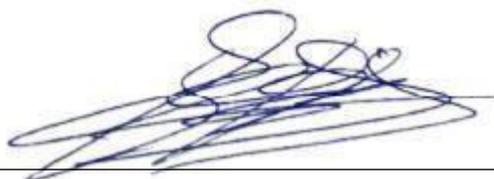
CDU 628.16

ERIK SANTOS PASSOS

**REÚSO DE ÁGUAS CINZAS: ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE FILTRO
COMPOSTO POR MATERIAIS ALTERNATIVOS**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestrepelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2022, às 15 h.



Prof. Dr. Gregório Guirada Faccioli
Universidade Federal de Sergipe
Presidente-Orientador



Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas
Universidade Federal de Sergipe
Examinador Interno



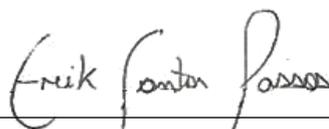
Prof. Dra. Roseanne Santos de Carvalho
Instituto Federal de Sergipe
Examinadora Externa

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

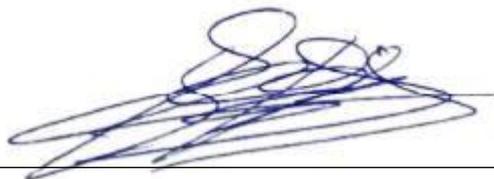


Prof. Dr. Gregório Guirada Faccioli - Orientador
Programa de Pós-graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS

É concedido ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias.



Erik Santos Passos
Programa de Pós-graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS



Prof. Dr. Gregório Guirada Faccioli - Orientador
Programa de Pós-graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Divisão de águas negras e águas cinzas.	25
Figura 2: Etapas do processo de filtração com taxa constante.	29
Figura 3: Representação de filtro de areia de camada simples e dupla.	30
Figura 4: Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola.	40
Figura 5: Aglomerado de resíduos recolhidos na unidade de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição.	48
Figura 6: Aparelho efetuando a britagem dos resíduos.	48
Figura 7: Resíduo de brita com 4,8 mm a 9,6 mm de diâmetro.	49
Figura 8: Resíduo pó de brita com 0,6 mm a 1,2 mm de diâmetro.	50
Figura 9: Esponja utilizada em acabamento com massa corrida e lavagem de veículos.	50
Figura 10: Esponja cortada com, aproximadamente, 9,5 cm de diâmetro.	51
Figura 11: Bagaços de laranjas lavados e cortados em pedaços de 1x1 cm.	52
Figura 12: Bagaços das laranjas após secagem na estufa.	52
Figura 13: Forno tipo mufla Innovatec.	53
Figura 14: Primeira remessa de carbonização do bagaço de laranja moído.	54
Figura 15: Segunda remessa de carbonização do bagaço da laranja moído.	54
Figura 16: Capsula quebrada contendo a última amostra de biocarvão.	55
Figura 17: Biocarvão do bagaço da laranja homogeneizado.	56
Figura 18: Equipamento utilizado nas análises MEV do biocarvão e esponja.	57
Figura 19: Equipamento Quantachrome, modelo NOVA 1200e.	58
Figura 20: Espectrofotômetro de fluorescência de raios X.	59
Figura 21: Garrafa PET cortada e com demarcação das camadas do filtro.	60
Figura 22: Detalhe do corte na tampa e aplicação do tecido 100% algodão.	60
Figura 23: Esquema de filtração piloto em escala laboratorial.	61
Figura 24: Filtração para limpeza e análises operacionais.	62
Figura 25: Reservatório para coleta de água cinza.	63
Figura 26: Detalhe de mangueira para passagem do excesso do efluente.	64
Figura 27: Turbidímetro digital TU430 AKSO.	65
Figura 28: Medidor multiparâmetros AKSO.	66
Figura 29: Aspecto visual da primeira amostra coletada.	71
Figura 30: Tipos de isotermas BET.	74
Figura 31: Imagens microscópicas de esponja de poliuretano, (a) 100x; (b) 250x; (c) 400x; (d) 500x.	76
Figura 32: Fragmentos de esponjas de poliuretano.	77
Figura 33: a) biocarvão 100x; (b) biocarvão 500x.	78
Figura 34: a) biocarvão 1200x; b) biocarvão 1800x.	78
Figura 35: Filtro em escala real de tratamento.	90
Figura 36: Esquema de pós tratamento.	91

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Rendimento das 5 amostras de biocarvão.	55
Gráfico 2: Isoterma de adsorção e dessorção.	75
Gráfico 3: Valores de pH.....	79
Gráfico 4: Valores de Turbidez.	81
Gráfico 5: Valores de Condutividade Elétrica.....	82
Gráfico 6: Valores de Oxigênio Dissolvido.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características das águas cinzas claras e escuras.	26
Tabela 2: Qualidade de água por classe de uso não potável segundo ABNT NBR 13.969.	31
Tabela 3: Qualidade de água por classe de uso não potável segundo ANA et al. (2005).	32
Tabela 4: Classificação dos poros conforme seu diâmetro.....	40
Tabela 5: Dados de funcionamento do filtro.	70
Tabela 6: Análise de FRX do RCC.	71
Tabela 7: Análise FRX com óxidos em RCC.....	72
Tabela 8: Características dos poros.	73
Tabela 9: Quantificação de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL).....	85
Tabela 10: Quantificação de Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL).....	85
Tabela 11: Eficiência do tratamento em relação aos parâmetros analisados.....	87
Tabela 12: Consumo médio de água por mês do fórum de Indiaroba/SE.	89
Tabela 13: Consumo estimado de água de lavatórios no fórum de Indiaroba/SE.....	89

LISTA DE SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
CETESB	COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
CNJ	CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA
CNRH	CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
DBO	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO
FIESP	FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO
IPEA	INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA
IQA	ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA
NBR	NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA
Nt	NITROGÊNIO TOTAL
OD	OXIGÊNIO DISSOLVIDO
ODS	OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
OMS	ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE
ONU	ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS
pH	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO
Pt	FÓSFORO TOTAL
RCC	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL
SDT	SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS
ST	SÓLIDOS TOTAIS

“Tudo em mim é a tendência para ser a seguir outra coisa; uma impaciência da alma consigo mesma, como uma criança inoportuna; um desassossego sempre crescente e sempre igual. Tudo me interessa e nada me prende.”

Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

Durante a trajetória, inúmeras pessoas passaram pelos meus caminhos, deixando rastros por meio de atos ou palavras de superação, carinho e conforto. Encerro essa etapa da minha vida com o sentimento de gratidão, primeiramente à Deus, por ter me proporcionado saúde e força para concluir meus objetivos.

Agradeço à minha família, em especial meus avós, Roque e Tivinha, por estarem sempre presentes e confiantes no meu sucesso.

À minha mãe, Adélia, e ao meu pai, Edivan, por sempre fazerem o possível para me ver crescendo na vida.

Ao meu namorado, Cassiano, por ter segurado a minha mão quando eu precisei de forças, por ter entendido minhas tensões e estresses, e por ter me apoiado em cada decisão da minha vida. Amo você!

Aos meus colegas e amigos do mestrado, todos tiveram um espaço no meu coração, mas cito aqui os que diretamente me auxiliaram e tornaram esse processo menos cansativo: Augusto e Joyce.

Aos amigos de vida, deixo aqui o meu muito obrigado, vocês nunca duvidaram de minhas potencialidades e isso foi essencial para que eu chegasse onde estou. Amo vocês!

À minha amiga e parceira de pesquisa, Beatriz, por toda ajuda prestada no desenvolvimento dessa pesquisa, assim como o apoio recíproco de crescimento acadêmico. Sua ajuda foi imprescindível para realização desse trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Gregório, por confiar no meu trabalho e em minha competência para chegar até aqui. Você nunca duvidou da minha capacidade e sempre me acalmou diante das aflições e incertezas. Muito obrigado!

Aos docentes com quem pude compartilhar de momentos importantes durante as disciplinas e ao PRODEMA, por ampliar minha visão de mundo e devolver a sociedade trabalhos com alto potencial científico.

Ao IFS, em especial aos laboratórios LEHSA e LHS, que disponibilizaram de infraestrutura e apoio técnico na realização do experimento desse estudo.

Agradeço, por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da minha pesquisa, reiterando que a pesquisa é base essencial no desenvolvimento da sociedade e por isso deve ser valorizada, assim como os pesquisadores que se dedicam integralmente no desenvolvimento de uma ciência de qualidade.

RESUMO

Os impactos negativos das ações antrópicas no meio natural causaram graves riscos na sobrevivência dos ecossistemas, as demandas hídricas, por exemplo, já são escassas em diversos países pelo mundo. São inúmeros os motivos que levam à escassez da água, perpassando desde a má distribuição territorial até à contaminação dos mananciais, exigindo, dessa forma, uma correta gestão ambiental e aproveitamento inteligente dos recursos disponíveis. Para tanto, são necessárias técnicas e soluções como a reutilização de águas cinzas ou aproveitamento de águas pluviais para utilização em fins sem potabilidade como a irrigação, lavagem de pisos, lavagem de carros e descargas sanitárias. O tratamento mais comum para esses efluentes, é o tradicional filtro de areia, que apesar de ser considerado um tratamento de baixo custo, demanda de recursos naturais limitados como areia, brita calcária e carvão mineral. Com o intuito de aliar o reaproveitamento de resíduos à reutilização de águas cinzas, o trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência de um filtro alternativo com esponjas usadas, biocarvão à base do bagaço de laranja e resíduos da construção civil para tratar águas cinzas de lavatórios. O método de abordagem da pesquisa é hipotético-dedutivo, partindo da hipótese que o tratamento proposto é sustentável e capaz de filtrar as águas cinzas para posterior aplicação como alternativa para cumprimento de indicadores socioambientais. Os materiais que compõem o filtro foram caracterizados, sendo os resíduos da construção civil por Fluorescência de Raios-X (FRX), esponjas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e o biocarvão por Brunauer, Emmett e Teller (BET) e MEV apontando-os como materiais porosos e capazes de filtrar sólidos e substâncias indesejáveis das águas cinzas. As amostras de águas cinzas do estudo foram coletadas de um banheiro masculino localizado no térreo do complexo laboratorial de biologia e engenharia florestal na UFS, Campus São Cristóvão, por meio de um reservatório de 50 litros instalado abaixo de um dos lavatórios. As análises realizadas antes e após a passagem na unidade de tratamento demonstraram redução no pH de 6,61%, aumento no oxigênio dissolvido de 41,62%, redução de 71,56% de turbidez, aumento em 310% da condutividade elétrica e remoção de 100% de coliformes termotolerantes. Por fim, sendo o efluente final classificado pela NBR 13.969 para utilização em descargas sanitárias e na agricultura, projetou-se um modelo de filtro em escala real tendo como base a produção de águas cinzas de lavatórios do fórum de Indiaroba/SE, com capacidade de filtrar 243,5 litros de águas cinzas por dia. O tratamento atendeu a hipótese, embora não tenha produzido efluente para reúso em jardins e lavagem de carros devido ao valor médio de turbidez superior a 5 NTU, mostrou-se efetivo na filtração, ressaltando a sustentabilidade dos materiais e seus impactos, bem como propondo sua aplicação como uma tecnologia para atendimento a indicadores socioambientais do Judiciário de Sergipe.

Palavras-chave: Tratamento sustentável. Águas residuárias. Indicadores de sustentabilidade.

ABSTRACT

The negative impacts of human actions on the natural environment have caused serious risks to the survival of ecosystems; water demands, for example, are already scarce in several countries around the world. There are many reasons that lead to water scarcity, ranging from poor territorial distribution to the contamination of springs, thus requiring a proper environmental management and intelligent use of available resources. To this end, techniques and solutions are needed, such as the reuse of grey water or the use of rainwater for non-potable purposes such as irrigation, washing floors, car washes, and toilet flushes. The most common treatment for these effluents is the traditional sand filter, which despite being considered a low cost treatment, requires limited natural resources such as sand, limestone and coal. In order to combine the reuse of waste with the reuse of graywater, the main objective of this study was to evaluate the efficiency of an alternative filter with used sponges, biochar based on orange bagasse and construction waste to treat graywater from sinks. The research approach is hypothetical-deductive, starting from the hypothesis that the proposed treatment is sustainable and capable of filtering greywater for subsequent application as an alternative to comply with socio-environmental indicators. The materials that compose the filter were characterized, being the construction waste by X-Ray Fluorescence (XRF), sponges by Scanning Electron Microscopy (SEM) and the biochar by Brunauer, Emmett and Teller (BET) and SEM pointing them as porous materials and able to filter solids and undesirable substances from the graywater. The graywater samples for the study were collected from a men's bathroom located on the first floor of the biology and forestry engineering laboratory complex at UFS, São Cristóvão Campus, through a 50 liter tank installed below one of the sinks. The analyses performed before and after the treatment unit showed a 6.61% reduction in pH, a 41.62% increase in dissolved oxygen, a 71.56% reduction in turbidity, a 310% increase in electrical conductivity, and 100% removal of thermotolerant coliforms. Finally, as the final effluent is classified by NBR 13.969 for use in sanitary flushing and agriculture, a full-scale filter model was designed based on the production of graywater from sinks in the forum of Indiaroba/SE, with a capacity to filter 243.5 liters of graywater per day. The treatment met the hypothesis, although it did not produce effluent for reuse in gardens and car washes due to the average value of turbidity above 5 NTU, it proved effective in filtration, highlighting the sustainability of materials and their impacts, as well as proposing its application as a technology to meet the socio-environmental indicators of the Judiciary of Sergipe.

Keywords: Sustainable treatment. Wastewater. Indicators of sustainability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo geral	20
2.2	Objetivos específicos	20
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1	Sustentabilidade	21
3.2	Reúso de água	23
3.3	Águas cinzas	24
3.3.1	Características das águas cinzas.....	25
3.3.2	Tratamento de águas cinzas	27
3.4	Tratamento por filtração	28
3.5	Legislações de reúso no Brasil	31
3.6	Resíduos Sólidos no Brasil	33
3.6.1	Aproveitamento de resíduos	36
3.6.2	Biocarvão	38
3.6.3	Técnicas de caracterização físico-química de materiais	39
3.7	Gestão ambiental pública e responsabilidade socioambiental	42
4	METODOLOGIA	45
4.1	Abordagem metodológica	45
4.2	Delimitação e caracterização da área de estudo	46
4.3	Pesquisa bibliográfica e documental	46
4.4	Confecção e caracterização dos materiais	47
4.5	Análises físico-químicas de caracterização	56
4.5.1	Análise de materiais por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de bancada.	56

4.5.2	Análise de biocarvão por Métodos BET e BJH	57
4.5.3	Análise de escaneamento por fluorescência de raios X por energia dispersiva.....	58
4.6	Montagem e operação do Filtro.....	59
4.7	Coleta de amostras e análise de eficiência do tratamento	63
4.8	Parâmetros de dimensionamento do tratamento em escala real	67
4.8.1	Estimativa do consumo de água.....	67
4.8.2	Filtro em escala real	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
5.1	Características de funcionamento do filtro	70
5.2	Características físico-químicas dos materiais	71
5.2.1	Escaneamento por fluorescência de raios X por energia dispersiva	71
5.2.2	Análise Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.)	73
5.2.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	75
5.3	Eficiência do tratamento	79
5.3.1	Potencial hidrogeniônico (pH).....	79
5.3.2	Turbidez (TURB).....	80
5.3.3	Condutividade elétrica (CE)	82
5.3.4	Oxigênio Dissolvido (OD).....	83
5.3.5	Coliformes Termotolerantes (CT).....	85
5.3.6	Eficiência geral e possibilidades de reúso	86
5.4	Dimensionamento para aplicação do tratamento	89
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
	REFERÊNCIAS	94
	APÊNDICE A – SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES.....	108
	APÊNDICE B – PLANTA BAIXA ARQUITETÔNICA	109

1 INTRODUÇÃO

As relações sociedade-natureza do último século trouxeram consigo interferências antrópicas que têm levado os ecossistemas a um colapso ambiental. O pensamento de Jean Brunhes¹ dentro da geografia humana dialoga fortemente com a exiguidade atual de recursos naturais, como a água; sua reflexão direta já antecipava no início do século XX uma visão de economia agressiva consumindo os recursos não renováveis e renováveis em um curto espaço de tempo.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 20% da população mundial não tem acesso à água potável e, aproximadamente, 40% não dispõe de água suficiente para uma estrutura de saneamento básico e higiene adequada (SILVA, 2012). Para além disso, a qualidade da água para consumo humano é considerada um indicador essencial para a avaliação do nível de desenvolvimento de um país e do bem-estar da sua população. A água é um recurso renovável, porém finito e relativamente escasso em algumas regiões, como o semiárido brasileiro, aliado ao desperdício e o uso inadequado aceleram o esgotamento e degradam esse recurso. Problemas desse tipo já ocorrem em diversas regiões e se mantidas as atuais formas de uso da água eles poderão abranger todo o planeta, gerando uma crise global da água (LUNARDI e RABAIOLLI, 2013).

Os países devem usar a água de forma mais eficiente, gerir, de forma inteligente, a oferta e demanda, poluir menos e reduzir os impactos ambientais da população em crescimento, preservando os recursos hídricos tanto em quantidade quanto em qualidade (ANDERSON, 2008). Com isso, é importante a adoção de tecnologias de preservação e tratamento da água, tal como o reúso de água cinza para fins não potáveis, como irrigação, lavagem de pisos e carros, pátios e uso em vasos sanitários. As águas cinzas constituem dos efluentes provenientes de chuveiros, lavatórios, máquina de lavar roupa e por excluïrem os efluentes dos vasos sanitários contém uma quantidade de resíduos inferior aos do esgoto doméstico, simplificando o seu tratamento.

¹ Professor de História e Geografia, segundo Andrade (1987, p. 72), “Publicou uma geografia humana na qual classificou os fatos de ocupação do espaço em três grandes grupos: os fatos de ocupação produtiva do solo, os de ocupação improdutiva do solo e, finalmente, os de ocupação destrutiva.”

Em termos de produção média diária de água cinza, Noutsopoulos et al. (2018) demonstram que uma pessoa produz diariamente 98 litros de água cinza, o que representa aproximadamente 70-75% da produção total de águas residuais domésticas (135 litros por pessoa por dia). No estudo de Boyjoo, Pareek e Ang (2013), entre 41 e 91% da água consumida em ambientes domésticos é transformada em água cinza.

Há uma diversidade de técnicas e tecnologias estudadas para tratar as águas cinzas, o filtro de areia é uma das tecnologias mais tradicionais no tratamento desses efluentes (ALLEN, CHRISTIAN-SMITH E PALANIAPPAN, 2010). No Brasil, é recomendado quando se deseja um sistema de pós-tratamento simplificado (ABNT, 1997), mas, apesar de ser um tratamento simples e com um custo pouco elevado, é composto de recursos naturais como areia, brita calcária e carvão mineral, gerando assim impactos na disponibilidade desses materiais no meio ambiente. Buscando uma postura de desenvolvimento local sustentável, a ciência tem trabalhado com diversas formas de incorporação de resíduos como substitutos desses materiais naturais, trazendo como vantagem, a agregação de resíduos como o da construção civil, com o intuito de minimizar os impactos ambientais negativos dessa prática e garantir uma tecnologia de baixo custo e eficiente, uma vez que esses resíduos representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas dos municípios (BRASIL, 2002).

Segundo dados atualizados do *website* Brasil Agro (2019), o Brasil é o maior produtor mundial de laranja, seguido da China, União Europeia e Estados Unidos e afirma que nem de longe essa liderança pode ser retirada do país. Em razão da alta atividade agrícola existente no Brasil, são geradas por ano milhões de toneladas de resíduos agroindustriais, como a laranja. Aproximadamente 50% do peso da laranja é formado pela casca e pelo bagaço, que são seus principais resíduos. Grande parte destes resíduos não são reaproveitados, sendo descartados sem tratamento, gerando perdas econômicas e risco ao meio ambiente (SUGIMOTO, 2018).

A partir disso é que surge a utilização do biocarvão, que é produzido a partir da pirólise de materiais orgânicos como a casca de coco e o bagaço da laranja. Ahmad et al. (2014) explicitam que a utilização de resíduos de biomassa para a produção de biocarvão não se restringe apenas ao caráter econômico, contudo também como benéfica, pelo fato de que, reduz a biodisponibilidade de contaminantes, e conseqüentemente, diminui a contaminação e toxicidade no meio ambiente.

A gestão ambiental pública tem grande relevância na garantia de um meio ambiente ecologicamente equilibrado, conforme previsto na constituição federal, devendo garantir aos

interesses coletivos, não somente um bom uso dos recursos naturais disponíveis, mas também o incentivo em soluções e tecnologias para recuperação e preservação desses recursos. O Conselho Nacional de Justiça (CNJ), através da resolução Nº 296 de 19/09/2019, estipula comissões dentro dos órgãos judiciários para atendimento de metas e indicadores socioambientais para esse órgão público, com o intuito principal de contribuir para o fortalecimento das políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável e propor políticas judiciárias voltadas à promoção do desenvolvimento sustentável. Ações como redução do consumo de papel, de copos plásticos, ações de educação ambiental e estímulo a redução no consumo de água são indicadores monitorados anualmente pelas comissões. Sendo assim, a implementação de atividades de reúso de águas cinzas pode ser uma alternativa atrativa para atingir o indicador de redução de água ao destinar esse efluente tratado a atividades não potáveis, como rega de jardins e lavagem de carros e pisos.

Destarte, utilizou-se o método de abordagem Hipotético-dedutivo de Karl Popper, partindo-se da hipótese que o tratamento proposto com resíduos de construção civil, esponjas usadas e biocarvão à base do bagaço de laranja é capaz de filtrar as águas cinzas para atendimento ao reúso em atividades não potáveis, podendo ser sugerido como uma alternativa para atendimento de indicador de redução no consumo de água potável.

Com isso, através de uma pesquisa quantitativa de natureza aplicada, busca-se descrever e explicar os processos e suas relações de causas e efeitos numa visão interdisciplinar do problema, explorando as relações sociedade-natureza e o alcance do desenvolvimento sustentável local. Para tanto, foram analisados os impactos da ação de reúso nas esferas sociais, econômicas e ambientais, ressaltando a importância da gestão ambiental pública na manutenção dos recursos naturais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O estudo visa analisar a eficiência de um modelo de filtro composto de materiais alternativos para tratar águas cinzas de lavatórios.

2.2 Objetivos específicos

Caracterizar os materiais que compõem o filtro;

Verificar a eficiência do tratamento em termos de redução dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados;

Dimensionar um filtro em escala real como alternativa para atendimento ao indicador de redução de consumo de água do poder judiciário de Aracaju/SE.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Sustentabilidade

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2018) estima-se que 97,5% da água existente no mundo é salgada e não é adequada ao nosso consumo direto nem à irrigação. Dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios. Logo, o uso desse bem precisa ser repensado para que não prejudique nenhum dos diferentes usos que o mesmo tem para a vida humana.

A ONU (2017) declarou que dois terços da população mundial no ano de 2017 viviam em áreas que passam pela escassez de água por, pelo menos, um mês ao ano. Cerca de 500 milhões de pessoas viviam em áreas onde o consumo de água excede os recursos hídricos localmente renováveis em dois fatores. Áreas altamente vulneráveis, onde os recursos não renováveis (ou seja, as águas subterrâneas fósseis) continuam a diminuir, tornaram-se altamente dependentes das transferências de áreas com água abundante e estão buscando ativamente fontes alternativas acessíveis.

Diante de uma forma de desenvolvimento que prejudica a preservação dos recursos naturais, é que se insere a busca por sustentabilidade, para Gomes e Ferreira:

O paradigma da depredação ambiental precisa ceder lugar há um novo modelo de desenvolvimento, voltado para o equilíbrio dos recursos ambientais e da vida humana, de modo a sincronizar recursos e valores que venham a oportunizar a vida em todas as suas formas, onde o meio ambiente seja conservado para as populações atuais e futuras (GOMES e FERREIRA, 2018, p.157).

Conforme Jannuzzi e Carlo (2019), a proposta e a mensuração de desenvolvimento sustentável tem sido foco de discussão desde o Relatório Brundtland em 1987. Diante da crescente preocupação com os problemas ambientais e a conservação de recursos naturais, tornou-se de crucial importância a proposição de políticas regulatórias na temática e a elaboração de novos tipos de informação que demonstrassem, de maneira explícita, a relação entre o desenvolvimento econômico e a depleção dos recursos naturais/degradação do meio ambiente. À época, já se reconhecia a inadequação das contas nacionais em refletir a

deterioração dos recursos naturais de uma nação e a dissociação entre a produção de estatísticas econômicas e sociais da produção de estatísticas ambientais.

No intuito de reverter esta situação de degradação ambiental e desigualdade social, propõe-se uma nova forma de vislumbrar o desenvolvimento, a partir da cooperação entre os sujeitos e da valorização de sua identidade cultural, política, social e econômica. Desse modo, tem-se debatido ações que promovam o desenvolvimento sustentável, em termos de uma alternativa de conciliação, possível, ao desenvolvimento econômico e a preservação dos recursos naturais (SACHS, 2008).

A Assembleia Geral da ONU aprovou em 2015 a “Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, que prevê os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), criado pelo Grupo Interinstitucional das Nações Unidas. Os ODS correspondem a 17 objetivos, os quais contêm 169 metas e 241 indicadores globais. Embora os ODS tenham surgido a partir dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, esses possuem uma visão muito mais ampla, objetivando eliminar a pobreza e a fome, proteger o planeta e seus habitantes, garantindo um ambiente próspero, sociedades justas, inclusivas e pacíficas para todos (NAÇÕES UNIDAS, 2019).

Dentre os ODS, destaca-se o Objetivo 6, o qual, em síntese, discorre sobre o acesso a água potável e saneamento para todos. Composto por seis metas, o ODS 6 prevê, para até 2030: alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, segura e acessível a todos (6.1); acesso ao saneamento e higiene adequados (6.2); melhorar a qualidade da água, reduzindo a sua poluição (6.3); assegurar o uso sustentável e eficiente deste recurso, bem como reduzir a sua escassez (6.4); implementar a gestão de recursos hídricos (6.5) proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água (6.6) (PNUD e IPEA, 2019).

Recursos hídricos distribuídos desiguais, secas severas, esgotamento das águas subterrâneas, deterioração da qualidade da água e mudanças climáticas tornam a atual situação de abastecimento de água ainda pior (CHEN, NGO e GUO, 2013). Assim, os esforços de gestão avançada de recursos hídricos fazem parte de um plano global de estratégias que visa satisfazer as necessidades humanas e ambientais e diminuir a lacuna existente entre os recursos hídricos disponíveis e a demanda de água (BARISCI, TURKAY e DIMOGLO, 2016).

Hespanhol (2015), ressalta que uma primeira solução para a problemática da escassez de água é a quebra do paradigma que se estabeleceu no Brasil de abundância desse bem natural. Faz-se necessário que o ser humano compreenda que a água é um recurso limitado, que depende

de processos naturais para sua autodepuração, no qual a velocidade dos seres humanos de gerar poluição é superior quando comparados aos processos naturais de autodepuração.

3.2 Reúso de água

O reúso de água pode ser definido como a aplicação de um efluente tratado para uso de forma benéfica (ASANO, 1998). O reúso divide-se em direto e indireto. O reúso direto de água ocorre quando a água é conduzida de uma estação de tratamento ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos (BRASIL, 2006). Enquanto que o reúso indireto se refere à diluição do efluente geralmente tratado em águas superficiais ou subterrâneas por tempo determinado, das quais posteriormente a água é captada seguida por tratamento e depois é distribuída para ser utilizada. Ambos os tipos de reúso- direto ou indireto, podem ser aplicados para fins potáveis ou não-potáveis. Portanto, o reúso da água é classificado em 4 classes: reúso potável direto; reúso potável indireto; reúso não potável direto e reúso não-potável indireto (TEXAS, 2013; TCHOBANOGLIOUS et al., 2011). O reúso não-potável pode ser subdividido para sua finalidade: urbano, agrícola, industrial, recreacional, para fins ambientais, aquicultura e recarga de aquíferos (USEPA, 2004).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (2012), o processo de reúso pode ocorrer também por meio de reutilização direta ou indireta, decorrente de ações planejadas ou não, assim as formas de usos de águas residuárias são:

Reúso indireto não-planejado da água: Acontece quando a água utilizada é descarregada no meio ambiente e novamente aproveitada, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada.

Reúso indireto planejado da água: Processo que descarrega os efluentes de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, que por sua vez são utilizadas de maneira controlada, no atendimento de alguma necessidade.

Reúso direto planejado das águas: É aquele cujo efluente, depois de tratado, é encaminhado diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso. Esse método já está sendo praticado por algumas indústrias e em irrigações.

Reciclagem de água: Reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Funciona como uma fonte suplementar de

abastecimento do uso original. A reciclagem da água é um caso particular do reúso direto planejado.

Para Carvalho (2013), as águas residuárias tratadas podem ser empregadas na irrigação, sendo importante salientar também que, deve-se promover sempre um tratamento eficiente do efluente a ser utilizado, escolha e manejo adequados do sistema de irrigação, restrição do tipo de cultura a ser irrigada e cuidados na colheita, transporte e manuseio.

Os sistemas de reúso, segundo Hespanhol (2015), quando bem planejados e com suas operações implementadas adequadamente, podem representar e trazer uma série de ganhos sociais e melhorias para o meio ambiente. Evidentemente que a gestão desses recursos deve ser bem planejada para evitar riscos à sociedade e ao meio ambiente. Portanto, é importante que a legislação seja consultada e que as resoluções sejam cumpridas, para que as intervenções espaciais tenham êxito sem causar impactos ao meio ambiente nem ao ser humano.

3.3 Águas cinzas

As águas cinzas do estudo, que podem ser incluídas também como águas residuárias, são definidas pelo manual da ANA et al. (2005) como efluentes domésticos que não possuem contribuição da bacia sanitária e pia de cozinha, ou seja, os efluentes gerados pelo uso de banheiras, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas.

Além disso, Zhu et al. (2018) afirmam que devido ao baixo nível de contaminação orgânica da água cinza em relação a fontes alternativas de água como o esgoto sanitário, além de disponibilidade contínua, a reutilização de água cinza tornou-se um foco especial para reúso. O aproveitamento de água cinza pode resultar em economia de água potável, economia de energia elétrica, menor produção de esgoto doméstico, e, conseqüentemente, esgoto sanitário, além da conservação de mananciais. Estima-se que 70% do esgoto doméstico são advindos das águas cinza, o que evidencia o grande potencial de reaproveitamento deste recurso (LEAL et al. 2007).

Peprah et al. (2018) comentam que a composição das águas cinza é um reflexo do estilo de vida e do tipo e quantidade de produtos químicos usados em limpeza, banhos e lavagem de roupas. A qualidade da água potável e o tipo de distribuição também afetam as características das águas cinza. Também haverá importantes variações na composição das águas cinza dependentes da variação entre água consumida e água cinza gerada em cada atividade. Geralmente, as águas cinza contêm altas concentrações de matéria orgânica facilmente

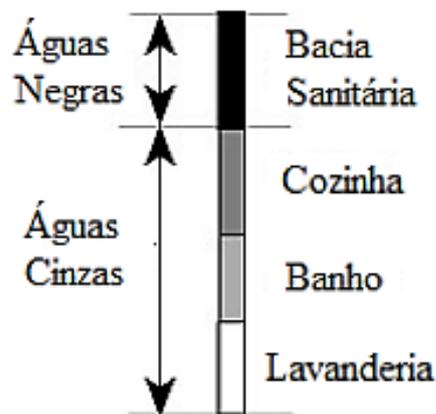
degradável. Isso inclui nutrientes como os nitratos e seus derivados, fósforo e seus derivados, e algumas podem incluir microrganismos como coliformes fecais, salmonella, dentre outros.

Para Santos et al. (2018), o reúso de efluentes tratados se apresenta como uma importante ferramenta de uso racional de água no âmbito da gestão de recursos hídricos. Essa prática, além de mitigar os impactos no meio ambiente, decorrentes do lançamento de efluentes, reduz a captação de água dos mananciais permitindo maior disponibilidade hídrica para os diversos fins.

3.3.1 Características das águas cinzas

A água cinza corresponde de 41 a 91% do esgoto residencial (BOYJOO et al. 2013), composto de água residual gerada a partir de todas as casas saneadas, exceto dos vasos sanitários (que são águas negras). Água cinza se distingue da água negra pela quantidade e composição dos seus produtos químicos e contaminantes biológicos (de fezes ou substâncias químicas tóxicas), bem como pela coloração mais clara, conforme pode-se observar na Figura 1.

Figura 1: Divisão de águas negras e águas cinzas.



Fonte: GREYWATER, acessado em 19/09/2020.

No entanto, devido à grande variação na qualidade desse tipo de água, Oliveira (2015) comenta que propuseram uma classificação em função da carga poluente: águas cinza clara, proveniente de banheira, chuveiro, lavatório e máquina de lavar roupa; águas cinza escura, proveniente da cozinha, máquina de lavar roupa e louça, chuveiro e lavatório. As características desses dois tipos de água cinza, reportadas por outros autores, estão elencadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características das águas cinzas claras e escuras.

Classificação da água cinza	Concentração média dos parâmetros							Referência
	pH	Turbidez (NTU)	SST (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Nt (mg/L)	Pt (mg/L)	
Água Cinza Escura				588	418	9,70	7,50	Palmquist et al. (2005)
		23	30	170	78			Ramon et al. (2007)
	7,10			425	215	17,20	5,70	Hernandez et al. (2007)
				640		27,20	9,80	Elmitwalli et al. (2007)
				724		26,30	7,20	Hernandez et al. (2011)
Água Cinza Clara	7,10	168	11,80	498	283	11,90	2,30	Bazzarella (2005)
	6,60-7,60	35		144	39	7,60		Pidou et al. (2008)
	6,80	38,80	32,20		72,70	4,10		Gual et al. (2008)
		19,60	29	87	20			Winward (2008)
	7,70	174,40	100,40	391,70				Magri et al. (2008)
	7,80	73	78	237	106	6,50	2,90	Valentina (2009)
	6,20		154,30	146,10	55,60			Pathan et al. (2011)
9	110	44,80	183,40	44,10	2,70	0,40	Knupp (2013)	

Fonte: Adaptado de Oliveira (2015).

Os hábitos e costumes dos indivíduos interferem diretamente na qualidade das águas cinzas. As características físico-químicas são afetadas pelo uso de produtos de limpeza e as biológicas pela saúde ou doença dos indivíduos. Conforme Grey e Becker (2002), os aspectos físicos mais relevantes são basicamente: turbidez, temperatura, cor e conteúdo de sólidos suspensos. Outra questão que influencia diretamente é a alta temperatura que favorece o crescimento de microrganismos.

As características químicas do efluente são determinadas pelos valores existentes da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Tais fatores demonstram a redução de oxigênio existente, devido à degradação da matéria orgânica que ocorre durante o transporte e posterior estocagem. Outro aspecto a ser visto são os compostos nitrogenados, considerando os nutrientes presentes nas águas cinzas, a concentração desse nitrogênio é mais baixa se comparada ao esgoto convencional, pois subentende-se que a principal fonte desse nutriente, que é a urina, não esteja presente em grandes quantidades no efluente (BRASIL, 2014).

Além dessas características, pode-se citar o potencial de hidrogênio em água potável, que é conhecido como o seu pH. O pH é uma medida da acidez ou alcalinidade de uma solução. Outro aspecto bastante analisado é Oxigênio Dissolvido (OD), que representa a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Provém do contato da água com a atmosfera e da produção por organismos fotossintéticos. Durante a estabilização da matéria orgânica, as bactérias utilizam o OD para respiração, causando conseqüentemente sua redução no meio. Caso o oxigênio seja totalmente consumido, surgem condições anaeróbias que ocasionam odores desagradáveis (BRASIL, 2014).

Sendo assim, é notável que conhecer as características do efluente é imprescindível na definição do tratamento a ser utilizado. Os critérios de qualidade da água podem afetar o desenvolvimento social, a aceitação pública e a viabilidade econômica de projetos de reutilização de água, além de serem parte indispensável na garantia de proteção da saúde pública e do meio ambiente (PARANYCHIANAKIS et al. 2014).

3.3.2 Tratamento de águas cinzas

É imprescindível tratar a água cinza antes de dar um destino a mesma, conforme Telles e Costa (2010), esse tratamento pode abranger diferentes estágios, no tratamento prévio ou preliminar tem-se por objetivo a remoção de sólidos muito grosseiros, detritos minerais, óleos e graxas, através da utilização de grades finas ou peneiras, caixas de areia, caixas de gordura (se for considerada a contribuição do efluente de cozinhas), entre outros.

Já no tratamento primário, possui como principal função a sedimentação de sólidos presentes no afluente, podendo ser esse processo de natureza física (através da gravidade) ou química (coagulação e/ou floculação). Nessa fase, é comum a geração de lodo devido a decantação dos sólidos. Junto com o tratamento preliminar, é capaz de reduzir cerca de 60 a 70% dos sólidos suspensos, de 20 a 45% da DBO e de 30 a 40% dos coliformes existentes. Enquadram-se nessa etapa: os tanques sépticos, decantadores e tanques de sedimentação, também chamados de clarificadores (TELLES e COSTA, 2010).

O tratamento secundário ou biológico tem como foco a degradação biológica da matéria orgânica presente nos sólidos dissolvidos ou finamente suspensos, a conversão em compostos mais simples das substâncias presentes (nitrogênio, fósforo, etc) e a remoção de parte dos coliformes. Esses processos podem ocorrer através de formas biológicas aeróbias (presença de oxigênio), anaeróbias (ausência de oxigênio) ou da combinação em série das duas. No primeiro

caso, as bactérias e archaeas bactérias são os principais 40 agentes, e o oxigênio é inserido, ou artificialmente, como nos casos dos lodos ativados e das lagoas aeradas, ou naturalmente, como nos filtros biológicos e nas lagoas de estabilização; no lodo que se deposita no fundo de alguns desses tratamentos, ocorre a decomposição anaeróbia. Quando, no tratamento, não há oxigênio, a estabilização da matéria orgânica e substâncias é feita pelas bactérias anaeróbias, como é o caso dos reatores e filtros anaeróbios, e digestores de lodo (TELLES e COSTA, 2010).

Por fim, o tratamento terciário consistindo na última etapa, possui como finalidades principais a remoção de nutrientes e patógenos, porém, também vai remover o material orgânico remanescente, os compostos não-biodegradáveis, os sólidos inorgânicos dissolvidos, etc. Vale salientar que é nessa fase que ocorre a remoção de nitrogênio e fósforo, além da desinfecção, que irá inativar seletivamente algumas espécies de organismos que ameaçam a saúde humana. Segundo Gonçalves (2006), a desinfecção pode ser feita de diversas formas, as técnicas mais comuns empregadas utilizam cloro, radiação ultravioleta ou ozônio em seus processos.

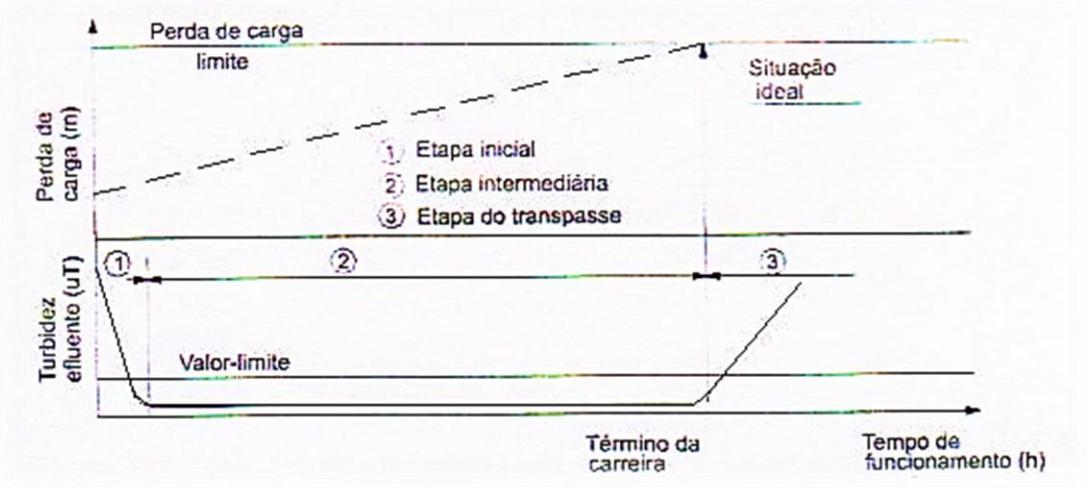
3.4 Tratamento por filtração

A filtração de água para fins de abastecimento público é um processo de remoção de material particulado já presente na água bruta ou gerado durante os processos de tratamento. Neste processo a água passa através do leito filtrante, e os materiais particulados são retidos na superfície do leito ou são coletados dentro de sua profundidade. Os filtros têm sido efetivos na remoção de material particulado de todos os tamanhos incluindo algas, compostos húmicos coloidais, vírus, fibras de asbestos e particulados coloidais de argilas.

Segundo Di Bernardo (2005), a carreira de filtração pode ser dividida em três etapas (Figura 2):

1. etapa inicial, quando a água filtrada pode apresentar qualidade insatisfatória;
2. etapa intermediária, durante a qual há produção de água com qualidade desejável;
3. etapa do traspasse, caracterizada pelo aumento contínuo da turbidez da água filtrada.

Figura 2: Etapas do processo de filtração com taxa constante.



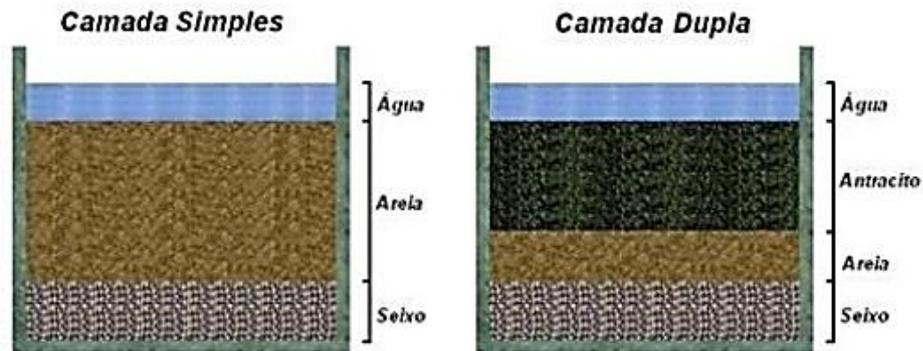
Fonte: DI BERNARDO (2005).

É sabido que, por segurança, durante a carreira de filtração não pode ocorrer o transpasse, ou em caso extremo, a carreira de filtração deve ser encerrada com o início do mesmo. Quando ocorre o transpasse significa que o meio filtrante não é mais capaz de reter impurezas ocasionando o aumento do número de organismos na água filtrada. Este aumento de turbidez e número de organismos podem comprometer a desinfecção.

A NBR 13.969 (ABNT, 1997) apresenta, dentre diversas unidades de pós-tratamento de efluentes de tanque sépticos, o filtro de areia, com suas características construtivas e sua eficiência em reduzir determinados parâmetros quando em conjunto com esse tratamento predecessor; porém tais dados técnicos fornecidos são escassos e generalizados, sem analisar as várias aplicações possíveis do efluente tratado, sobretudo no que se refere a reúso, podendo, dessa forma, gerar inviabilidade econômica e técnica.

O uso de filtros de areia é uma alternativa que preserva o baixo custo e as mínimas necessidades de operação e manutenção. Os filtros de areia, Figura 3, são utilizados em praticamente todos os sistemas de tratamento de água, pois são de simples operação, exigem pouca manutenção e por isso normalmente oferecem baixo custo de operação. O filtro de areia permite a adsorção de contaminantes do efluente, sendo que sua eficiência varia de acordo com a taxa de aplicação e a qualidade do efluente, a espessura e a granulometria das camadas filtrantes (ALLEN; SMITH; PALANIAPPAN, 2010).

Figura 3: Representação de filtro de areia de camada simples e dupla.



Fonte: OROZCO (2012).

O processo de filtração baseia-se na remoção de partículas, coloidais ou suspensas e microrganismos da água, a partir de seu escoamento em meio poroso, geralmente areia. Os filtros utilizados para tratar água de abastecimento podem ser classificados segundo aspectos como: tipo de meio filtrante (granular ou poroso), número de camadas (simples ou múltiplas), sentido do escoamento (ascendente ou descendente), taxa de filtração (filtros rápidos ou filtros lentos), entre outros. Normalmente, os filtros rápidos operam com taxa de filtração de 120 a 480 m³/m². dia enquanto que os filtros lentos utilizam taxas de 2,4 a 9,6 m³/m². dia (LIBÂNIO, 2010).

Durante a operação do filtro, os sólidos são removidos da água e acumulados dentro dos vazios e no topo da superfície do leito filtrante. Este entupimento leva a um aumento gradual de perda de carga se a taxa de escoamento for mantida. Após um período de operação (ciclo do filtro ou carreira de filtração), o filtro é lavado por retrolavagem, que envolve a inversão da direção da água e adição de ar comprimido. Durante a retrolavagem, o leito é fluidificado e cuidados devem ser tomados para não haver perdas de material com o descarte da água de lavagem.

Diferentemente dos filtros lentos, os filtros rápidos de areia têm pouco efeito sobre o gosto, odor e impurezas dissolvidas a menos que seja adicionado carvão ativado ao filtro. Apresenta como vantagens o fato de trabalhar com maior vazão do que um filtro lento de areia, requerer área relativamente pequena e ser menos sensível a alterações na qualidade da água bruta.

3.5 Legislações de reúso no Brasil

Com a prática crescente do reúso de água no mundo e a percepção dos órgãos públicos de seus benefícios, diversos países têm desenvolvido arcabouços legais que normatizam esta prática, visando, sobretudo, incentivar o reúso de água de forma segura aos envolvidos. Entende-se que estabelecer normas e regulações da qualidade da água cinza é extremamente importante para minimizar os riscos do seu uso (COUTO et al. 2015).

Em termos de legislação brasileira, o primeiro regulamento voltado ao reúso foi a NBR 13.969 (ABNT, 1997), que trata de tanques sépticos. A norma apresenta em um item os limites de concentração dos poluentes para a realização do reúso e quatro classes de água de reúso definidas com os respectivos padrões de qualidade conforme Tabela 2. Cabe destacar também, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005 que trata do enquadramento dos corpos hídricos e das condições de lançamentos de efluentes.

Tabela 2: Qualidade de água por classe de uso não potável segundo ABNT NBR 13.969.

Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes	Turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 200 NMP/100 mL; sólidos dissolvidos totais inferiores a 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	Turbidez inferior a cinco, coliforme fecal inferior a 500 NMP/100 mL, cloro residual superior a 0,5 mg/L.
Classe 3	Reúso nas descargas dos vasos sanitários	Turbidez inferior a 10, coliformes fecais inferiores a 500 NMP/100 mL
Classe 4	Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual	Coliforme fecal inferior a 5 000 NMP/100 mL e oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/L

Fonte: ABNT, 1997.

Em 2005 também se estabeleceram no Brasil modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água. Pela Resolução N° 54/2005 do CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH), as modalidades foram: reúso para fins urbanos, reúso para fins agrícolas e florestais, reúso para fins ambientais, reúso para fins industriais e reúso na agricultura (BRASIL, 2005). A Resolução N° 54 (BRASIL, 2005) ainda determina que, a não ser que haja grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deverá ser utilizada em atividades que tolerem águas de qualidade inferior; para fins agrícolas, ambientais, indústrias e aquicultura.

A Resolução CONAMA nº 430/11 (BRASIL, 2011) complementa e altera alguns padrões do CONAMA 357/05 e traz novidades, como a separação das Condições de Padrões

de Lançamento para efluentes e Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários. Antes esta separação não existia, fazendo com que todos os empreendimentos que descartavam seus resíduos líquidos em corpos de água seguissem as mesmas regras. Em uma publicação entre entidades públicas e privadas, ANA et al. (2005), apresentam orientações de parâmetros de qualidade de água para diferentes classes de uso não potável (Tabela 3).

Tabela 3: Qualidade de água por classe de uso não potável segundo ANA et al. (2005).

Parâmetros	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	
	Descarga sanitária; Lavagem de pisos, roupas e veículos; e fins ornamentais	Construção civil	Irrigação	Resfriamento de equipamentos e ar condicionado central. Sem recirculação	Com recirculação
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	Não detectáveis	≤ 1000	≤ 200	SR	SR
pH	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0	5,0 - 8,3	6,8 - 7,2
Cor (UH)	≤ 10	SR	< 30	SR	SR
Turbidez (UT)	≤ 2	SR	< 5	SR	SR
Odor e aparência	Não desagradáveis	Não desagradáveis	SR	SR	SR
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1	≤ 1	SR	SR	SR
DBO (mg/L)	≤ 10	≤ 30	< 20	SR	SR
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes	Ausentes	SR	SR	SR
Nitrato (mg/L)	< 10	SR	SR	SR	SR
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20	SR	SR	SR	SR
Nitrito (mg/L)	≤ 1	SR	SR	SR	SR
Fósforo total (mg/L)	≤ 0,1	SR	SR	SR	SR
Sólido suspenso total (mg/L)	5	30	20	5000	100
Sólido dissolvido total (mg/L)	500	SR	SR	1000	500
Cloretos	SR	SR	SR	600	500
Dureza	SR	SR	SR	850	650
Alcalinidade	SR	SR	SR	500	350
Bicarbonato	SR	SR	SR	600	24
Sulfato	SR	SR	SR	680	200
Fósforo	SR	SR	SR	SR	1
Cálcio	SR	SR	SR	200	50
Magnésio	SR	SR	SR	SR	30
Oxigênio dissolvido	SR	SR	SR	Presente	SR

Fonte: ANA et al. (2005).

Tratando-se de água de reúso, o Brasil ainda carece de normas técnicas para regulamentar os tipos de reúso existentes e seus parâmetros de análise, de modo a garantir água de qualidade para as finalidades pretendidas. Muitas empresas, quando aderem aos sistemas de reúso de água realizam o projeto e estabelecem critérios de forma empírica em função da ausência de tais legislações (OLIVEIRA, ANDRADE e BROETTO, 2019).

No que se refere ao contexto brasileiro e, especificamente, ao Estado de Sergipe, foi aprovado o projeto de Lei 4109/12 no dia 02/10/2019 pela Comissão de Constituição e Justiça, de autoria do deputado federal Laércio Oliveira (SE), que institui o Programa Nacional de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, onde prevê que novas edificações residenciais e comerciais serão obrigadas a possuir sistema integrado de captação e reutilização de águas. Assim, de acordo com o deputado, as águas das chuvas servirão para lavagem de roupas, vidros, calçadas, pisos, veículos e para a irrigação de hortas e jardins. Já as águas escoadas de tanques, pias, máquinas de lavar, bidês, chuveiros e banheiras, serão reaproveitadas no abastecimento de descargas de vasos sanitários ou mictórios. O projeto de lei também estende o reúso das águas para lagos artificiais, chafarizes de parques, praças e jardins.

É iminente a necessidade de criação de um conjunto legal específico com o propósito de que esta solução não se transforme em outro problema, propagando doenças em detrimento da saúde da população. Além disso, é fundamental que haja maior articulação política e gestão participativa, com o intuito de implementar políticas públicas democráticas e complementares à Política Nacional, em busca de possibilidades que racionalizem o uso da água (ALMEIDA, 2011).

3.6 Resíduos Sólidos no Brasil

A Lei Federal nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, engloba os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) como os resíduos domiciliares, provenientes das atividades domésticas e resíduos de limpeza urbana, originados da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas entre outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos relata, dentre outras definições, acerca das diretrizes relacionadas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos. A Lei define o destino fim adequado, incluindo a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e o aproveitamento energético, atentando-se a normas operacionais específicas a fim de evitar riscos à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2010).

Em Sergipe, a Lei nº 5.857 de 22 março de 2006, dispõem sobre a Política Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, em seu artigo 6º consideram os resíduos sólidos como qualquer material, substância ou objeto descartado, resultante das atividades humanas ou em decorrência de fenômenos naturais, que são encontrados nos estados sólidos e semissólidos, incluindo-se os particulados (SERGIPE, 2006).

Dentre as várias formas de classificar os diversos resíduos são presentes as suas características físicas e sua composição química como ressaltam Ribeiro e Morelli (2009).

Quanto às características físicas:

- Secos: papéis, plásticos, couros tratados, tecidos, vidros, madeiras, guardanapos e toalhas de papel, pontas de cigarro, isopor, lâmpadas, parafina, cerâmicas, porcelana, espumas, cortiças.
- Molhados: restos de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovo, legumes, alimentos estragados, etc.

Quanto à composição química:

- Orgânicos (ou biodegradáveis): pó de café e chá, cabelos, restos de alimentos, cascas e bagaços de frutas e verduras, ovos, legumes, alimentos estragados, ossos, aparas e podas de jardim.
- Inorgânicos (ou não biodegradáveis): Compostos por produtos manufaturados, como vidros, borrachas, metais (alumínio, ferro, etc.), lâmpadas, velas, parafinas, cerâmicas, porcelana, etc.

De acordo com a Lei 12.305/2010 os resíduos são classificados quanto à sua fonte geradora, conforme as categorias apresentadas a seguir:

Resíduo Domiciliar: constituído por restos de alimentação, papéis e vidros.

Resíduo Comercial: produzidos em hotéis, restaurantes, lojas e em outros estabelecimentos afins.

Resíduo de Serviço de Saúde (RSS): provenientes de hospitais, clínicas médicas e veterinárias, laboratórios de análise clínicas, centro de saúde, dentre outros estabelecimentos.

Resíduos Sólidos Industriais (RSI): abrangem os resíduos das indústrias de transformação, os resíduos radioativos e os agrícolas.

Resíduos da Construção Civil (RCC): são oriundos de reformas, reparos e demolições de obras da construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos.

Resíduo Público ou de Varrição: São resíduos advindos de limpeza pública urbana, ou seja, são resultantes da varrição regular de rua, dentre outros.

Resíduos de Portos Aeroportos, Terminais Rodoviários e Ferroviários: são provenientes de locais de grande transição de pessoas e mercadorias podem conter agentes patológicos nos materiais de higiene e de uso pessoal.

Resíduos de Mineração: são oriundos de atividades de mineração e são constituídos em sua maioria de solo removido, restos e lascas de pedras e metais pesados.
Resíduos Sólidos Especiais (RSE): pneus, pilhas, baterias e, também, as lâmpadas fluorescentes.

Em caráter local, há na cidade de Aracaju/SE, a Lei nº 1721, de 18 de julho de 1991, que institui o Código de Limpeza Urbana e Atividades Correlatas, tendo como atribuições ao órgão municipal de limpeza urbana, os seguintes critérios:

- I - Coleta, transporte, tratamento e destinação final de lixo domiciliar;
- II - Coleta e transporte e lixo público, com exceção do gerado no Sistema viário estadual e federal;
- III - Tratamento e destinação final de todo o lixo público;
- IV - Controle juntamente com o centro de Zoonoses, da incidência de mosquitos e infestação de ratos e ratazanas em locais públicos e domiciliares, determinando e utilizando-se de métodos de trabalho preventivo, corretivo e aplicação de produtos químicos, observando-se recomendações do órgão ambiental do município, podendo promover a cobrança quando reativados em logradouros não considerados públicos, de acordo com tabela elaborada pelo órgão de limpeza urbana, independentemente das sanções aplicáveis.
- V - Coleta, transporte e disposição final dos resíduos sólidos especiais.
- VI - Cumprir e fazer cumprir as normas legais contidas no Código de limpeza urbana e de controle de vetores, bem como a Aplicação de penalidade por infrações a estas normas;
- VII - Normatização e fiscalização dos sistemas de coleta, redução, Acondicionamento e armazenamento do lixo no interior das Edificações;
- VIII - Inspeccionar e fiscalizar o transporte do lixo e/ou de quaisquer resíduos ou cargas que apresentem riscos de prejudicar os serviços de limpeza urbana, e/ou não atendam ao disposto no presente Regulamento;
- IX - A cobrança e a arrecadação de valores correspondentes às sanções dispostas no presente Código, bem como a cobrança e a arrecadação de preços e tarifas pela prestação de serviços especiais de limpeza, remoção, tratamento e disposição de lixo e controle de vetores.

Apesar da existência de legislação e penalidades a serem aplicadas ao seu não cumprimento, é visto com frequência a disposição irregular de resíduos sólidos em áreas de preservação, canais de escoamento pluvial, terrenos vazios e até mesmo nas vias urbanas e rurais. No que condiz a destinação final dos RSU em 2019, 59,5% dos resíduos foram destinados para aterros sanitários e 40,5% foram dispostos em locais inadequados, como os lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2020). A disposição inadequada impacta o ambiente (solo, recursos hídricos, ar e vegetação) e compromete a saúde pública.

A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, atualizou a Política Nacional de Saneamento Básico, modernizando diversos trechos da legislação anterior que remonta ao ano de 2007. O novo marco legal do saneamento básico, como vem sendo chamado, trouxe novos princípios, diretrizes e orientações para o planejamento e execução dos serviços públicos de saneamento básico, dentre os quais incluem a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos, constituídos

das atividades e da disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana (ABRELPE, 2020).

A construção civil é o setor da economia que mais gera resíduos sólidos, popularmente chamado de entulho. Milhares de toneladas são produzidas todos os dias nas cidades brasileiras, frequentemente, são misturados com os resíduos comuns, ocupando espaços desnecessários nos aterros sanitários e reduzindo sua vida útil (POLETO E BRESIANI, 2013).

O grande problema dos RCC é a sua destinação inapropriada. Conforme a Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição (ABRECON), 50% dos municípios brasileiros ainda destinam os seus resíduos para lixões ou locais irregulares ao invés de reciclá-los (ABRECON, 2015). A ABRECON afirma que apenas 20% dos RCC são reciclados no Brasil (ABRECON, 2015). Em contrapartida, a União Europeia recicla cerca de 70% do seu RCC, chegando a reciclar até 80% nos casos da Bélgica e da Holanda (FREITAS, 2018). Esse dado, mostra que é possível reduzir a quantidade de RCC dispostos em locais irregulares e sem o devido cuidado.

3.6.1 Aproveitamento de resíduos

Seguindo o propósito de se obter uma forma de desenvolvimento que seja benéfica a sociedade e que gere economia e menos impactos aos recursos naturais, é que se incorpora resíduos das mais diversas origens. Dentro desse viés, há estudos que incorporam resíduos como esponjas, resíduos cerâmicos e de concreto da construção civil, carvões produzidos de biomassa e outros.

O Brasil detém o título de maior produtor mundial de laranja, além de ser o maior produtor e exportador de suco de laranja concentrado congelado, consolidando-se no cenário citrícola mundial (IBGE, 2017). Dados de produção agrícola da laranja no Brasil, aponta o estado de Sergipe como sexto maior produtor de laranja do país e segundo maior produtor do nordeste, ficando atrás somente da Bahia (EMDAGRO, 2020).

Segundo a Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO) (2020), embora demonstrem que a exploração da cultura da laranja está em declínio no estado, ainda é significativa econômica e socialmente, haja visto que, em 2019, foi a segunda cultura em valor de produção, participando com 14,7 % do valor total das principais culturas do estado,

(em primeiro lugar destaca-se a cultura do milho grão, com 43,9 %); e sobretudo se destaca pelo fato de que o suco de laranja, em suas diferentes modalidades, é o principal produto de exportação do estado, participando com 51,6 %, em média, do total das exportações no período 2010 a 2020.

O bagaço da laranja pode ser utilizado para diversas finalidades, Santos et al. (2018) estudou o material como gerador de gás metano, associado também com o lodo industrial e percebeu eficiência em termos de produção, potencial de geração e percentagem de metano. A casca da laranja pode ser usada também para produção de doce artesanal (AMARAL et al. 2021), assim como para produção de biocarvão, podendo compor tratamentos de água e efluentes e incorpora-los como condicionador de solos (CARVALHO, 2018; DALTO et al. 2020).

Outro tipo de resíduo que possui bastante aplicabilidade, são os RCC. Segundo Mesquita (2010), os filtros de areia são equipamentos de tratamento físico da água que utiliza uma ou mais camadas de materiais granulares como elemento filtrante, principalmente areia, pedregulhos e zeólitas. Sendo os RCC tratados encontrados na forma granular, podem ser adaptados em modelos alternativos que possibilitem alcançar o propósito do reúso de forma mais ecológica e benéfica ao meio ambiente e a sociedade em geral. Os RCC podem substituir esses materiais granulares, não só em escala de tratamentos de água e esgoto, mas também na produção de blocos de concretos e camadas de pavimentação (DIAS, RAMOS e FLORENCIO, 2021; OMIDO et al. 2018). No trabalho de Campos et al. (2008), substituíram a brita da camada de suporte por resíduos cerâmicos ou mistura de cerâmicos e concreto e verificou-se que também seria eficiente como substituto e que assim ainda contribuía com o destino apropriado do resíduo.

Para além desses resíduos, pesquisas desenvolvidas apontam alguns materiais plásticos como bons substitutos em tratamentos de água, como as esponjas de poliuretano. Esses resíduos normalmente descartados no lixo urbano, pode compor sistemas de tratamentos e auxiliar em processos de filtração e remoção de óleos. Isolani (2000), testou um filtro de esponjas comprimidas para tratamento de águas de abastecimento, e verificou uma capacidade efetiva de filtração do material, sugerindo possíveis combinações de esponjas com filtros tradicionais de areia. Já Albuquerque (2017), observou a alta capacidade da esponja de poliuretano de retenção de óleo diesel, no caso de derramamentos em ambientes aquáticos.

Confrontar-se com o desafio da redução dos impactos ambientais dos processos não depende apenas de uma correção nos problemas já existentes, mas sim, que sejam tomadas providências no sentido de evitar ou diminuir a ocorrência dos mesmos. Logo, torna-se então o divisor de águas na mudança do paradigma do desenvolvimento econômico/industrial para a visão da sustentabilidade ambiental, no qual visa principalmente não impor barreiras ao crescimento, mas sim a melhoria do desempenho ambiental. Segundo o autor, o paradigma da sustentabilidade, que engloba as esferas ambiental, social, econômica, cultural e política, almeja a adequação dos padrões da vida humana (KIPERSTOK, 2002).

Numa percepção nacional, há uma diversidade de estudos acerca do reúso de águas cinzas, desde estudos para características econômicas e sociais à riscos de doenças e sistemas integrados de reutilização domiciliar. Ressalta-se os trabalhos de Leal (2013) e Pozzebon (2013) que estudaram e avaliaram os impactos positivos econômicos ao utilizar o tratamento para aproveitar as águas cinzas, reduções nos valores da conta de água mensal, além das perspectivas da sustentabilidade como uma postura social. São trabalhos que demonstram a conexão do tema com os enfoques do desenvolvimento sustentável, aplicando um viés social, ambiental e econômico em propostas que eram vistas somente do aspecto técnico.

3.6.2 Biocarvão

O biochar é a designação internacional para o biocarvão ou carvão bioativado, um termo recém-criado que tem por definição ser um produto rico em carbono (C) obtido quando a biomassa, como madeira, folhas e estrume, é aquecida em um compartimento fechado com pouco ou nenhuma provisão de oxigênio (O₂), e em temperaturas que variam entre 300 °C a 800 °C (LEHMANN e STEPHEN, 2009). Já a International Biochar Initiative (IBI) o define como “um material sólido obtido a partir da conversão termoquímica de biomassa num ambiente limitado em oxigênio” (IBI, 2012).

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2012) ressalta que o reaproveitamento da biomassa residual dos processos agrícolas/industriais proporciona uma oportunidade rumo à uma destinação sustentável dos resíduos, contribuindo para a mitigação e controle da poluição gerada pelos mesmos, além de ocasionar melhorias para as condições de saúde pública.

A utilização do biocarvão é bastante diversificada, seja no sequestro de carbono da atmosfera, filtragem de água ou como adsorvente de poluentes em águas residuárias, dentre

outras aplicações (GUPTA e KUA, 2020; GWENZI et al. 2017; AHMED et al. 2016). De acordo com Kamali et al. (2021), a capacidade de adsorção do biocarvão é altamente dependente de sua química de superfície, área superficial específica, porosidade e forma.

Dentre os bioadsorventes mais estudados e utilizados destacam-se: mesocarpo do coco verde, bagaço de cana-de-açúcar, palha/casca de café e casca de banana. Em seu estudo, Carvalho (2018) produziu um biocarvão e testou suas características adsorptivas em águas residuais, e pôde-se constatar que o biocarvão do bagaço da laranja obteve características superiores ao carvão mineral comumente utilizado em tratamentos de água. Jesus (2016) estudou o uso de biocarvões da pirólise das biomassas bagaço de coco e casca de laranja como adsorventes na remediação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em água, demonstrando eficiência desses materiais.

Para além do uso em tratamentos de água e efluente, o biocarvão como condicionador do solo ajuda a melhorar a fertilidade fornecendo e retendo nutrientes e água (SPERATTI et al. 2017). Ademais, com as possibilidades de uso dessas biomassas para produzir biocarvão, é possível agregar valor e aplica-lo em diversos fins agrônômicos ou de engenharia. Por este motivo, entende-se que a pesquisa em questão deva compreender resultados importantes e destacar a efetividade desse biocarvão no tratamento de águas cinzas.

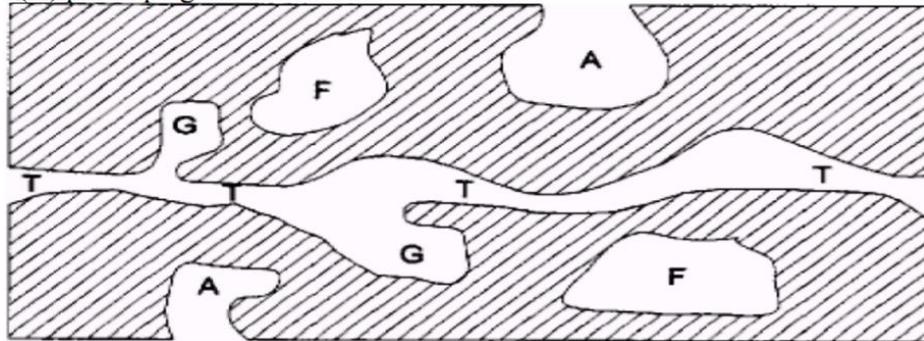
3.6.3 Técnicas de caracterização físico-química de materiais

Na literatura existe uma diversidade de métodos de caracterização física e química de materiais adsorventes como o biocarvão, assim como os resíduos da construção civil. Segundo a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), os materiais porosos podem ser classificados quanto à forma dos poros e respectivos tamanhos, quanto à forma podem ser poros abertos, denominados por terem contato com a superfície externa, mas com fim, ou então, atravessando todo o material, acarretando o transporte de compostos; os poros fechados formam um poro isoladamente.

A porosidade dos biocarvões é um dos aspectos mais importantes para a avaliação de seu desempenho. Conforme Pessoa (2019), as diferenças nas características de adsorção estão também relacionadas com a estrutura dos poros do material. Embasado na variação da capacidade de adsorção com a concentração de adsorvato (P/P_0), a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) estabeleceu uma classificação porosa, resumida abaixo:

- a) Quanto à forma: Utiliza-se a expressão poro aberto ou poro fechado para designar aberturas em materiais sólidos, o primeiro correspondendo a reentrâncias que se comunicam com a superfície externa e o segundo correspondendo a um buraco isolado, conforme é representado na Figura 4. Se um poro aberto é tal que permite o fluxo de um fluido, o poro é dito ser poro de transporte, sendo que, esse pode apresentar “braços” que não contribuem para o fenômeno de transporte.

Figura 4: Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola.



Fonte: Adaptado de Pessoa (2019).

- b) Quanto à dimensão: Baseado nas propriedades de adsorção, a IUPAC propõe a classificação de poros em função do diâmetro, conforme observado na Tabela 3.

Tabela 4: Classificação dos poros conforme seu diâmetro.

Classificação	Diâmetro médio (Å)	Função principal
Microporo	<20 Å	Contribuem para a maioria da área superficial, proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas pequenas, tais como gases e solventes comuns.
Mesoporo	Entre 20 Å e 500 Å	São importantes para adsorção de moléculas grande tais como corantes e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
Macroporo	> 500 Å	São normalmente considerados sem importância para a adsorção e sua função é servir como meio de transporte para as moléculas gasosas.

Fonte: Adaptado de Carvalho (2018); Pessoa (2019).

Kalinke (2015) salienta que experimentos realizados pelo método de Brunauer, Emmett e Teller (BET) proporcionam informações relacionadas à caracterização de porosidade e área superficial das amostras. O método BET funciona no qual primeiramente três amostras são submetidas a um processo de desgaseificação a 300 °C durante cerca de 1 hora e posteriormente submetidas ao processo de adsorção física de nitrogênio gasoso nas superfícies externas e internas das amostras a 77,3 K e a uma pressão de vapor relativa de 0,1, a quantidade de gás adsorvido depende da sua pressão de vapor relativa e se comporta de forma proporcional às superfícies totais das amostras.

Dedavid et al. (2007) trazem que a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) tem sido uma ferramenta de trabalho empregada pelos pesquisadores em várias áreas de concentração, uma vez que ela abrange um conjunto de técnicas que possibilitam a caracterização da morfologia do material, composição química e determinação da estrutura atômica, tanto de metais, cerâmicas e polímeros, como de espécimes biológicas. Ainda segundo Dedavid et al. (2007), a MEV utiliza um feixe de elétrons ao invés de fótons, permitindo a eliminação do problema de resolução relacionado com a fonte de luz branca do microscópio óptico convencional. Para as medidas MEV, primeiramente a superfície das três amostras, estas fixadas com fita de carbono dupla face, passam por um processo de metalização com uma fina camada de ouro, através de uma metalizadora e são posicionadas no campo das lentes.

Uma das técnicas que se tornou mais explorada para o estudo de amostras granulares nos últimos anos, devido às suas vantagens, é o sistema de espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS, EDX ou XEDS), também conhecido como espectroscopia de análise de energia dispersiva de raios-X ou espectroscopia de microanálise de energia dispersiva de raios-X (ISMAIL et al. 2019). Esse sistema pode ser acoplado ao MEV, o qual permite a visualização da área da amostra que se deseja estudar. Esse método permite a obtenção de bons indícios acerca da composição das superfícies das partículas a serem analisadas.

O mapeamento composicional teve um grande impacto nos estudos de elementos químicos na última metade do século passado, enquanto o MEV tornou-se cada vez mais usado. Muitos desenvolvimentos técnicos e analíticos se beneficiaram das sinergias de físicos e geólogos e muito contribuíram para o sucesso desta técnica analítica (LANARI et al. 2018).

3.7 Gestão ambiental pública e responsabilidade socioambiental

As organizações públicas têm buscado adotar uma postura ambientalmente correta e socialmente justa, para isso incorporam uma visão ecoeficiente em seus processos e ações. Bursztyn e Bursztyn (2006) e Barata, Kligerman e Minayo-Gomez (2007) explicam que ao incorporar o conceito de ecoeficiência, uma organização busca oferecer bens e serviços úteis à sociedade com o mínimo possível de impactos ambientais e sociais, associando, para tanto, tecnologias ambientalmente corretas à eficiente utilização dos recursos naturais e à redução dos resíduos derivados de suas atividades.

Dentro da realidade local, Tavares (2016) estudou a aceitabilidade ao reúso de águas residuárias numa instituição de ensino, onde ficou explícito o quanto é importante pesquisar e entender as aplicabilidades e a receptividade social dessas tecnologias de reúso. Essas ações abrem vertentes a serem exploradas e debatidas acerca dos impactos socioambientais da prática de reúso e a sua influência no desenvolvimento sustentável local. Para que esse reúso aconteça de forma efetiva e chegue democraticamente à sociedade, é necessário que haja uma gestão ambiental pública que vise não só regulamentar essas ações para evitar riscos à população, bem como introduzir e incentivar a aplicação de tecnologias que possibilitem a conservação e recuperação dos recursos naturais existentes.

Para além disso, a Lei 9433/97 que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), define em seus artigos como a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo da água, bem como tem como um dos seus objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. Apesar de não citar diretamente as tecnologias de reutilização de água, está substancialmente difundida nos critérios de racionalização e de preservação dos recursos hídricos. A lei explicita ainda que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades, reiterando a importância da gestão pública ambiental e também da sociedade em geral para tornar o meio ambiente justo e equilibrado.

O relatório da ONU publicado em 2019 enfatiza que o desenvolvimento sustentável e a gestão integrada dos recursos hídricos são cruciais para alcançar os objetivos sociais, econômicos e ambientais. O documento destaca a importância da implementação de tais programas e projetos, assim como da promoção de parcerias e do envolvimento de diversas partes interessadas para se cumprir a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, com foco na implementação do ODS 6 de “assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água

e saneamento para todos”. Assim, como forma de gerir de forma sustentável é que se busca essas tecnologias, visando uma aplicação desses objetivos e promovendo uma participação integrada de gestão ambiental.

A Resolução nº 201, de 3 de março de 2015, do CNJ determinou que todos os órgãos e conselhos do Poder Judiciário deveriam elaborar e implantar seus Planos de Logística Sustentável, o que foi seguido pelo Tribunal de Justiça de Sergipe (TJSE), através da Portaria nº 68/2015. Seguindo ainda as determinações da Resolução nº 201/2015 – CNJ, foram criadas a Unidade Socioambiental do TJSE e a Comissão Gestora do PLS. No ano de 2020, a Portaria nº 60/2020 incluiu o art. 69-A e revogou o art. 82, ambos da Portaria nº 77/2018 GP1 do Tribunal de Justiça do Estado de Sergipe, transformando a Unidade Socioambiental em um órgão subordinado à Diretoria de Administração, com funcionários próprios, não mais funcionando no modelo de uma comissão ou grupo de trabalho.

As competências dessa unidade socioambiental do TJSE, estão explicitadas segundo (TJSE, p.5-6, 2020) como:

I – Elaborar ações voltadas à gestão organizacional de processos estruturados na promoção da sustentabilidade ambiental, econômica e social no Tribunal de Justiça do Estado de Sergipe;

II – Planejar, implementar e monitorar metas anuais de avaliação de indicadores de desempenho para o cumprimento da Resolução nº 201/2015 do CNJ;

III – Estimular a reflexão e a mudança dos padrões de compra, consumo e gestão documental dos órgãos do TJSE, bem como do corpo funcional e força de trabalho auxiliar;

IV – Fomentar ações que estimulem: a) o aperfeiçoamento contínuo da qualidade do gasto público; b) o uso sustentável de recursos naturais e bens públicos; c) a redução do impacto negativo das atividades do órgão no meio ambiente com a adequada gestão dos resíduos gerados; d) a promoção das contratações sustentáveis; e) a gestão sustentável de documentos, em conjunto com a unidade responsável; f) a sensibilização e capacitação do corpo funcional, força de trabalho auxiliar e de outras partes interessadas; e g) a qualidade de vida no ambiente de trabalho, em conjunto com a unidade responsável.

V – Fomentar a inclusão de práticas de sustentabilidade, racionalização e consumo consciente, que compreende as seguintes etapas: a) estudo e levantamento das alternativas à aquisição de produtos e serviços solicitados; b) especificação ou alteração de especificação já existente do material ou serviço solicitado, observando os critérios e práticas de sustentabilidade, em conjunto com a unidade solicitante; c) lançamento ou atualização das especificações no sistema de compras e administração de material da instituição; d) dentre os critérios de consumo consciente, o pedido de material e/ou planejamento anual de aquisições deverão ser baseados na real necessidade de consumo até que a unidade possa atingir o ponto de equilíbrio.

VI – Implementar o Plano de Logística Sustentável do Poder Judiciário (PLS-PJ), de

acordo com o Capítulo II da Resolução nº 201/2015 do CNJ; VII - elaborar os relatórios semestral e anual ou quando for solicitado pela Comissão Gestora ou pela Administração Superior do Órgão.

Dentro do relatório anual de desempenho logístico e sustentável de 2020, conforme o TJSE (2020), o item 2.7 que se refere a água e esgoto, obteve uma redução de, aproximadamente, 23% no consumo de água em relação ao ano de 2019. Com iniciativas como: Não utilizar água nobre para fins não nobres; Instalação de sistema de reuso de água no fórum de Indiaroba e nos fóruns em construção; e Adoção de medidas para evitar o desperdício de água, como a instalação de descargas e torneiras mais eficientes com dispositivos economizadores; é que se tornou possível atender ao indicador ambiental de redução do consumo de água.

Através de união e apoio a propostas científicas de projetos que visem promover o bem estar social e a preservação dos recursos naturais, é possível pensar em uma gestão ambiental pública aliada a ciência para conceber a sociedade alternativas e exemplos para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável. Aproximando os enfoques de legislação, os impactos antrópicos do homem aos recursos hídricos, a carência social de tecnologias democráticas e permeando a influência na economia, pode-se obter de forma interdisciplinar uma aproximação ao desejado conviver sustentável

4 METODOLOGIA

4.1 Abordagem metodológica

Os conhecimentos científicos, fundamentais na construção de uma pesquisa, são obtidos por procedimentos metodológicos bem definidos que permitem a busca, análise, interpretação e entendimento dos fatos e fenômenos que, em alguns casos, poderão ser observados, definidos, manipulados, experimentados, controlados, recompostos e entendidos. A escolha do método e tipo de pesquisa é primordial para os objetivos do estudo, pois, é importante que os pesquisadores passem a ter uma visão mais global do mundo em que vivem e que entendam que, de acordo com a complexidade dos estudos e dos objetivos a serem alcançados, os métodos e técnicas de pesquisa deverão ser escolhidos independentemente de dogmas e individualidades (PROETTI, 2018).

A dissertação baseou-se no método de abordagem Hipotético-dedutivo de Karl Popper, que segundo Lakatos e Marconi (2003, p.95):

[...] o método científico parte de um problema, ao qual se oferecesse uma espécie de solução provisória, uma teoria-tentativa, passando-se depois a criticar a solução, com vista à eliminação do erro e, tal como no caso da dialética, esse processo se renovaria a si mesmo, dando surgimento a novos problemas.

Esse método é característico pela criação de uma hipótese acerca do problema, que será metodologicamente experimentada e refutada para que se chegue numa conclusão ou em um novo problema, sendo assim a hipótese que norteia esse trabalho é que o tratamento proposto com resíduos de construção civil, esponjas usadas e biocarvão à base do bagaço de laranja é sustentável e capaz de filtrar as águas cinzas de lavatórios para atendimento ao reúso em atividades não potáveis de lavagem de pisos e carros, podendo ser utilizada como alternativa ao atendimento de indicadores socioambientais. A partir daí, têm-se a etapa de falseamento, onde se refuta as proposições, sendo esta a etapa de comparação dos resultados obtidos com teorias existentes, conclusão da hipótese e suas possíveis aplicações.

O estudo possui caráter quantitativo, com natureza aplicada e finalidade descritiva-explicativa, observando de forma experimental os resultados acerca do objeto de estudo e buscando descrever como ocorreu os fenômenos e devido a que eles ocorreram. Através de

procedimentos e técnicas busca-se atingir os objetivos propostos pelo trabalho. Para Proetti (2018, p.18), as pesquisas quantitativas

produzem a quantificação das características e da regularidade de ocorrência de um fato e atuam em níveis de realidade em que os dados são importantes e devem ser quantificados, pois indicam posições e ocorrências importantes para despertar a atenção de pesquisadores.

4.2 Delimitação e caracterização da área de estudo

As águas cinzas do estudo foram recolhidas duas vezes por semana, com intervalo de dois dias, durante o mês de dezembro de 2022 no complexo laboratorial de biologia e engenharia florestal na Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus São Cristovão. Devido à pandemia, não foi possível instalar o filtro em escala laboratorial na instituição do judiciário, sendo assim o mesmo foi montado no laboratório de hidráulica que fica situado no complexo laboratorial citado anteriormente.

Diante da impossibilidade de estudo nas instituições, foi feito um estudo estimativo de produção de águas cinzas de lavatórios, para apresentar de forma empírica o que a utilização do filtro para reúso de água cinza pode oferecer em atendimento à redução do consumo de água dessas instituições.

4.3 Pesquisa bibliográfica e documental

Esta etapa foi fundamental e definiu o escopo da pesquisa através da consulta de obras, como artigos em periódicos e livros analógicos e digitais, dissertações e teses em repositórios de instituições recomendadas pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Dentre as normas regulamentadoras, legislações ambientais e resoluções, pode-se destacar enquanto norteadoras desse trabalho, as listadas no Quadro 1:

Quadro 1: Documentos norteadores da pesquisa.

Tipo	Número/ano	Descrição
Norma Brasileira	13.969/1997	Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos.
Resolução	54/2005	Modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.
Lei Federal	9433/1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
Lei Federal	12.305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
Agenda	2030/2015	17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas a serem buscados pelo Brasil e 192 países até 2030.
Resolução	201/2015	Criação e competências das unidades ou núcleos socioambientais nos órgãos e conselhos do Poder Judiciário e implantação do respectivo Plano de Logística Sustentável.

Fonte: Autor (2021).

As obras consultadas se relacionam diretamente com a temática da pesquisa, especialmente abordagens como: aspectos de qualidade da água; tratamentos para reúso de efluentes; reutilização de resíduos; métodos e materiais filtrantes; contribuição social do reúso não potável; indicadores socioambientais; e desenvolvimento sustentável.

4.4 Confecção e caracterização dos materiais

4.4.1 Resíduos da Construção Civil

Os resíduos da construção civil foram doados pela empresa Torre Empreendimentos Rural e Construção Ltda, que é uma empresa do ramo da engenharia que concentra sua atuação em três áreas complementares e afins, quais sejam: Engenharia civil, ambiental e sanitária. A empresa atua em serviços diversos de limpeza urbana, disposição final de resíduos sólidos urbanos, incluindo resíduos de serviços de saúde e industriais, minimizando os impactos causados pela ação do homem na natureza, quer seja através de ações corretivas, atuando em recuperação de áreas degradadas, quer seja em ações preventivas, através de campanhas educativas, programas de conscientização da população sobre seu papel na conservação e preservação do meio ambiente.

Esses resíduos foram oriundos da Unidade de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição da empresa Torre (Figuras 5 e 6), que fica situada na BR 101, km 57. Essa unidade,

tem capacidade de receber entre 20 e 25 mil toneladas de resíduos por mês, segundo SETV (2013). Os resíduos que chegam passam por etapas de triagem, como a segregação e a britagem, para geração do produto bruto, que seria a brita e o pó de brita.

Figura 5: Aglomerado de resíduos recolhidos na unidade de reciclagem de resíduos da construção civil e demolição.



Fonte: Prefeitura Municipal de Aracaju (2017).

Figura 6: Aparelho efetuando a britagem dos resíduos.



Fonte: Prefeitura Municipal de Aracaju (2017).

Foram cedidos dois tipos de resíduos, o resíduo de brita que é um agregado de granulometria graúda, utilizado para compor a camada suporte do filtro. O outro resíduo doado é chamado de pó de brita, considerado um resíduo de granulometria mais fina, semelhante a alguns tipos de areia, e foi utilizado enquanto material filtrante na composição do filtro.

Para utilização no filtro foi necessário definir as granulometrias para a camada de suporte e a camada de filtração com os RCC. Logo, analisando trabalhos de referência, como o de Passos, Carvalho e Brandão (2021a), e a NBR 13.969 (ABNT, 1997), definiu-se que a camada de suporte deveria possuir grãos médios entre 4,8 mm e 9,6 mm, enquanto a camada filtrante necessitaria de grãos entre 0,6 mm e 1,2 mm. Sendo assim, no dia 10 de novembro de 2021 foi realizada uma caracterização granulométrica por peneiramento, seguindo a norma NBR NM 248:2003 (ABNT, 2003), visando identificar o tamanho dos grãos dos resíduos. O peneiramento foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da UFS. As Figuras 7 e 8 mostram, respectivamente, os resíduos de brita e pó de brita após caracterização granulométrica.

Figura 7: Resíduo de brita com 4,8 mm a 9,6 mm de diâmetro.



Fonte: Autor (2021).

Figura 8: Resíduo pó de brita com 0,6 mm a 1,2 mm de diâmetro.



Fonte: Autor (2021).

4.4.2 Esponja utilizada

A esponja utilizada para compor o filtro, consiste em um bloco de espuma utilizado para acabamento em massa fina e lavagem de automóveis. Possui dimensões de 22 x 13 x 6 cm e foi doada para pesquisa, foi utilizada cerca de 15 vezes, tanto para acabamento em massa corrida, quanto para lavagem de veículos. A Figura 9 mostra a esponja utilizada para camada filtrante.

Figura 9: Esponja utilizada em acabamento com massa corrida e lavagem de veículos.



Fonte: Autor (2021).

Para o condicionamento da esponja dentro da coluna de filtração, foi necessário cortá-la com um diâmetro de aproximadamente 9,5 cm, já que a coluna possui 9,0 cm de diâmetro e a esponja precisa estar comprimida para permanecer imóvel em sua posição. Além disso, foi feito um corte no sentido horizontal da esponja, inicialmente possuía 6 cm de altura e foi cortada para 3 cm de altura, justificado ao fato de que a proporção da camada de esponjas seria muito alta para o tamanho do filtro em escala laboratorial. A Figura 10 apresenta a esponja cortada final.

Figura 10: Esponja cortada com, aproximadamente, 9,5 cm de diâmetro.



Fonte: Autor (2021).

4.4.3 Produção do biocarvão

O biocarvão foi produzido por meio do processo de carbonização, que conforme a pesquisa de Carvalho (2018) utilizando uma mufla, foi possível verificar que possui sua melhor queima na temperatura de 550°C levando em consideração os aspectos de cor, pH e Condutividade Elétrica (CE).

O bagaço da laranja foi cedido por uma lanchonete situada no bairro industrial, em Aracaju/SE. Esse material foi levado para UFS, onde foi devidamente lavado em água corrente, cortado em pedaços de 1x1 cm (Figura 11) e acondicionado em bandejas na estufa por 48 horas à temperatura de 105°C. A Figura 12, apresenta o bagaço da laranja após ser retirado da estufa.

Figura 11: Bagaços de laranjas lavados e cortados em pedaços de 1x1 cm.



Fonte: Autor (2021).

Figura 12: Bagaços das laranjas após secagem na estufa.



Fonte: Autor (2021).

Após o processo de secagem, o bagaço da laranja seco foi moído em um macro moinho de facas, tipo Willey – MA340, modelo Marconi com peneira de 20 mesh e acondicionado em saco plástico, posteriormente todo o material produzido foi devidamente homogeneizado.

Para a etapa de carbonização, foi necessário deslocar-se para o Instituto Federal de Sergipe, Campus Estância, onde foi disponibilizado o equipamento de forno tipo mufla pelo Laboratório de Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental (LEHSA). Para a carbonização em mufla foram realizadas duas remessas com o bagaço de laranja moído a 550°C, com taxa de aquecimento de 25°C.min⁻¹. Após atingir a temperatura determinada, permaneceram por 60 minutos em forno tipo mufla Innovatec (Figura 13).

Figura 13: Forno tipo mufla Innovatec.



Fonte: Autor (2021).

Na primeira remessa de carbonização (Figura 14), foram pesados em balança de precisão, respectivamente, 135,92g, 138,73g e 55,61g de bagaço moído acondicionado em 3 capsulas de porcelana (com peso de, respectivamente, 162,62g, 187,99g e 312,02g), e foram anotadas suas respectivas massas. Após o resfriamento da mufla, o material foi colocado em dessecador para que fosse isento de umidade para após ser pesado em balança precisão. O processo foi conduzido em atmosfera isenta de oxigênio em mufla do tipo normal.

Figura 14: Primeira remessa de carbonização do bagaço de laranja moído.



Fonte: Autor (2021).

Na segunda remessa (Figura 15), foram pesados em balança de precisão, respectivamente, 159,62g, 151,48g e 103,01g de bagaço de laranja moído acondicionado em 3 capsulas de porcelana (pesando, respectivamente, 183,15g, 169,24g e 385,98g) e foram anotadas suas respectivas massas. Diferentemente do trabalho de Carvalho (2018), não havia disponibilidade de cadinhos de porcelana com tampas, então optou-se por realizar o processo nas capsulas sem tampa, e assim analisar as visíveis diferenças entre os carvões.

Figura 15: Segunda remessa de carbonização do bagaço da laranja moído.



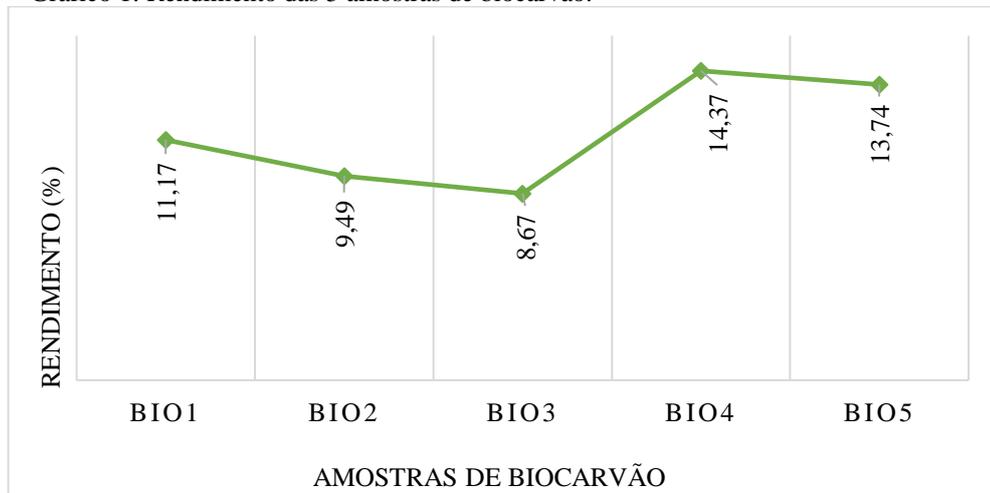
Fonte: Autor (2021).

Foi determinado o rendimento gravimétrico através da razão da massa do carvão (g) em relação à massa do bagaço de laranja seco (g), conforme Equação 1.

$$RCG = \left(\frac{P_{\text{carvão}}}{P_{\text{bagaçoseco}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

No rendimento gravimétrico (Gráfico 1), foram analisadas as 5 primeiras amostras, já que a última amostra, de massa 103,01g e peso de capsula 385,98g, partiu-se ao ser inserida no dessecador (Figura 16). Sendo assim, foi possível recuperar parte do biocarvão, mas para o cálculo do rendimento não foi possível estimar empiricamente devido a falta do peso total do biocarvão dessa amostra. É notável que durante a pirólise do material carbonáceo, ocorre uma elevada perda de massa em virtude das reações de decomposição da matéria orgânica com geração de compostos.

Gráfico 1: Rendimento das 5 amostras de biocarvão.



Fonte: Autor (2021).

Figura 16: Capsula quebrada contendo a última amostra de biocarvão.



Fonte: Autor (2021).

Finalizada a produção de biocarvão, juntou-se o material para homogeneização e posteriormente o pesou para obtenção do total produzido. O material foi acondicionado em sacos plásticos e levado para o Laboratório de Hidráulica, situado no complexo laboratorial de biologia e engenharia florestal da UFS, local onde o filtro piloto foi montado. Na Figura 17, pode-se observar o biocarvão homogeneizado.

Figura 17: Biocarvão do bagaço da laranja homogeneizado.



Fonte: Autor (2021).

4.5 Análises físico-químicas de caracterização

4.5.1 Análise de materiais por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de bancada

As análises morfológicas foram realizadas no Centro de Laboratório de Química Multiusuários (CLQM), localizado no Departamento de Química – UFS. Para a análise foi empregado um equipamento da marca Hitachi, modelo TM3000, conforme a Figura 18, operando com tensão de 15 kV e amplificação das imagens variando de 50 a 10.000x. A análise MEV, foi realizada para a amostra de biocarvão e também para a amostra da esponja de poliuretano usada.

Figura 18: Equipamento utilizado nas análises MEV do biocarvão e esponja.



Fonte: CLQM (2021).

4.5.2 Análise de biocarvão por Métodos BET e BJH

Essa análise foi realizada somente para o biocarvão, foi executada no CLQM, localizado no Departamento de Química – UFS empregando equipamento de marca Quantachrome, modelo NOVA 1200e (Figura 19). Antes da análise, aproximadamente 100 mg da amostra passou por um processo de degaseificação na temperatura de 300 °C, por um período de 1 h. O intuito dessa análise é a determinação das isotermas de adsorção e dessorção, área específica, volume de poros, diâmetro de poros e histograma de distribuição de diâmetros de poros – Métodos BET e BJH. Os resultados serão classificados de acordo com a IUPAC e autores de referência.

Figura 19: Equipamento Quantachrome, modelo NOVA 1200e.



Fonte: CLQM (2021).

4.5.3 Análise de escaneamento por fluorescência de raios X por energia dispersiva

Esta análise foi realizada para amostra de resíduo da construção civil, executada no CLQM, localizado no Departamento de Química – UFS. Para a determinação dos elementos foi empregado um espectrômetro de fluorescência de raios X de energia dispersiva modelo Ray Ny EDX-720 da Shimadzu (Figura 20). A voltagem aplicada ao tubo de raios X foi de 15 keV e 50 keV, corrente de 100 μ A com tempo morto do detector de 40% e colimador de 10 mm. Os espectros foram obtidos sequencialmente de 0 a 40 keV. O tempo de irradiação foi de 100 s em atmosfera à vácuo. Para a realização da análise, a amostra foi prensada em forma de pastilha usando como aglomerante o ácido bórico P.A na proporção de 0,25:0,75 (g de ácido bórico:g de amostra) e levada ao aparelho para análise.

Figura 20: Espectrofotômetro de fluorescência de raios X.

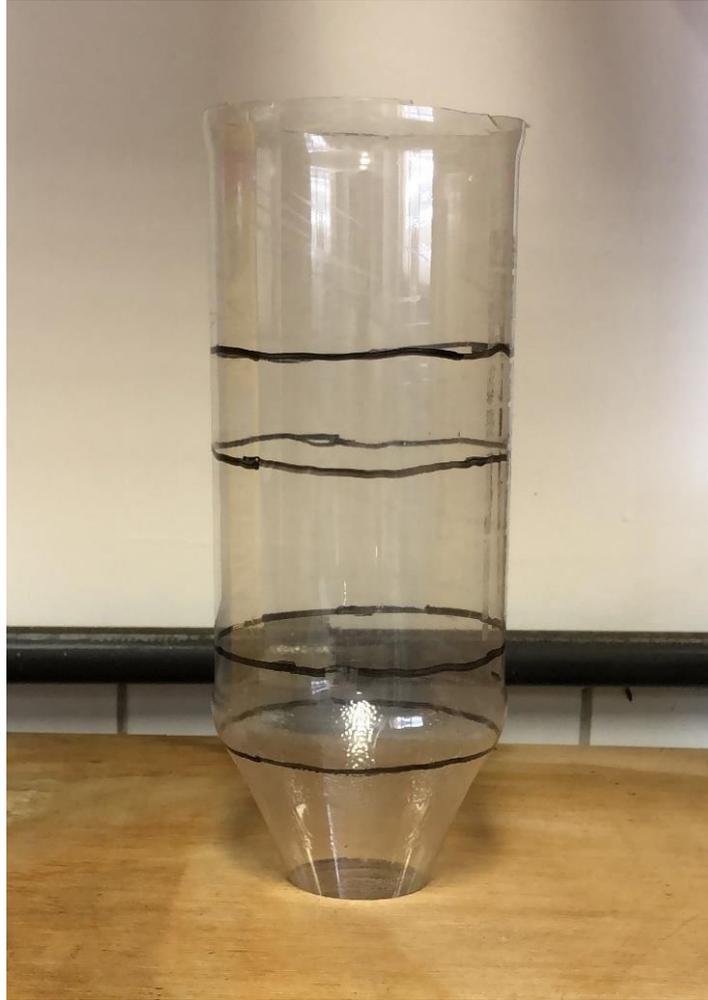


Fonte: CLQM (2021).

4.6 Montagem e operação do Filtro

O filtro foi montado em uma garrafa PET de 1,5 litros, onde foi cortado o fundo da garrafa, para acondicionar o material e aplicar o efluente de água cinza. Após cortada, foi demarcada na garrafa com um pincel preto as prováveis alturas de cada camada (Figura 21), definidas com base em filtros pilotos e a NBR 13.969 (ABNT, 1997). Na Figura 22, têm-se, o detalhe do corte na tampa da garrafa e a aplicação de um tecido 100% algodão, que serviu para segurar a camada suporte e filtrar parte dos sólidos presentes na percolação da água.

Figura 21: Garrafa PET cortada e com demarcação das camadas do filtro.



Fonte: Autor (2021).

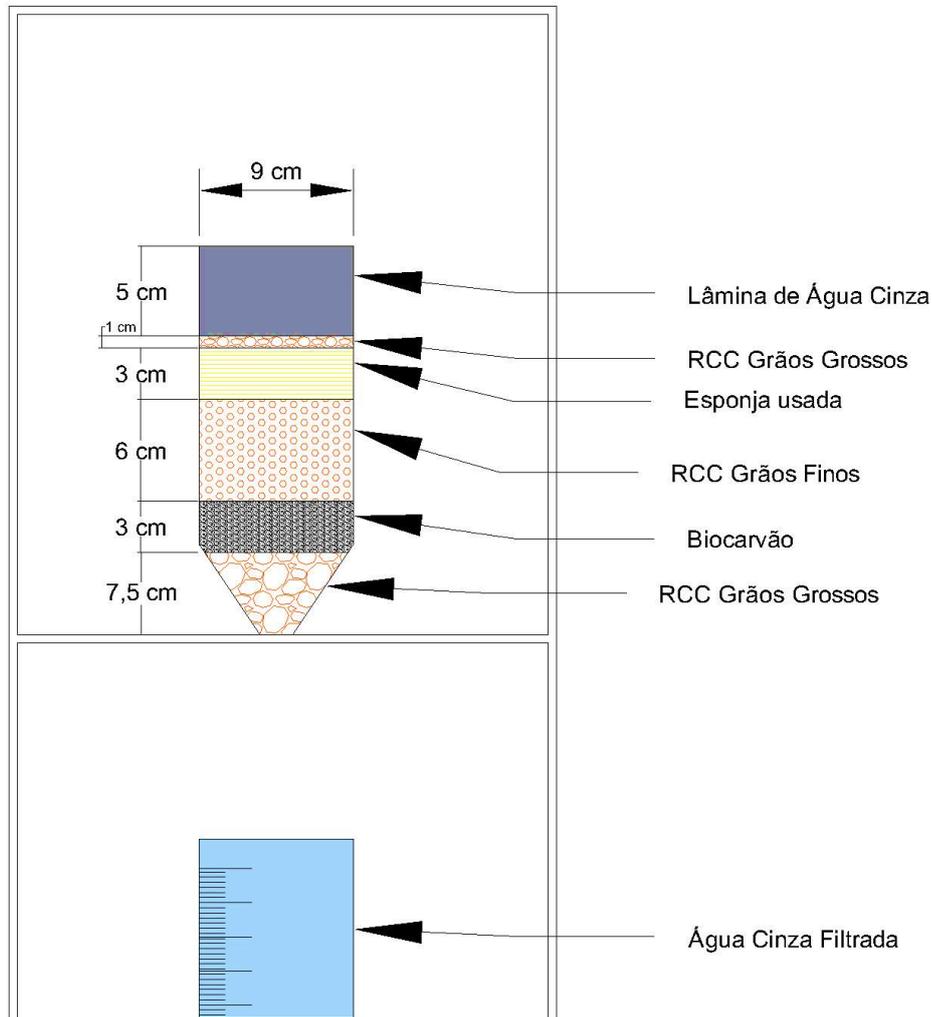
Figura 22: Detalhe do corte na tampa e aplicação do tecido 100% algodão.



Fonte: Autor (2021)

A garrafa PET possui diâmetro interno de 9 cm na sua maior dimensão, além de altura de coluna de filtração de 25,5 cm. Deste modo, após finalizada toda análise de volumes disponíveis, o filtro foi definido de forma representativa, na Figura 23. Cabe destacar, a inclusão de uma camada de 1 cm de RCC de grãos grossos inserida acima da esponja, o intuito é reter alguns sólidos que podem causar o entupimento dos poros da esponja.

Figura 23: Esquema de filtração piloto em escala laboratorial.



Fonte: Autor (2021).

Os materiais foram colocados *in natura* na coluna do filtro, pois foram realizadas 5 filtrações iniciais com aplicação de 1 litro de água de torneira objetivando a limpeza dos materiais e os testes de funcionamento e percolação. A Figura 24, apresenta o filtro montado com os devidos materiais filtrantes.

Figura 24: Filtração para limpeza e análises operacionais.



Fonte: Autor (2021).

A vazão afluyente ao filtro foi calculada a partir da aplicação constante de água de torneira. A partir daí, mediu-se o tempo necessário para que a água atingisse as marcações 100 mL, 500 mL e 1000 mL de um béquer graduado.

A taxa de filtração é a relação entre a vazão afluyente ao filtro e a área da seção transversal do meio filtrante, conforme Equação (2):

$$t = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Onde:

t: Taxa de filtração ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$);

Q: Vazão afluyente ao filtro (m^3/dia);

A: Seção transversal do filtro (m^2).

4.7 Coleta de amostras e análise de eficiência do tratamento

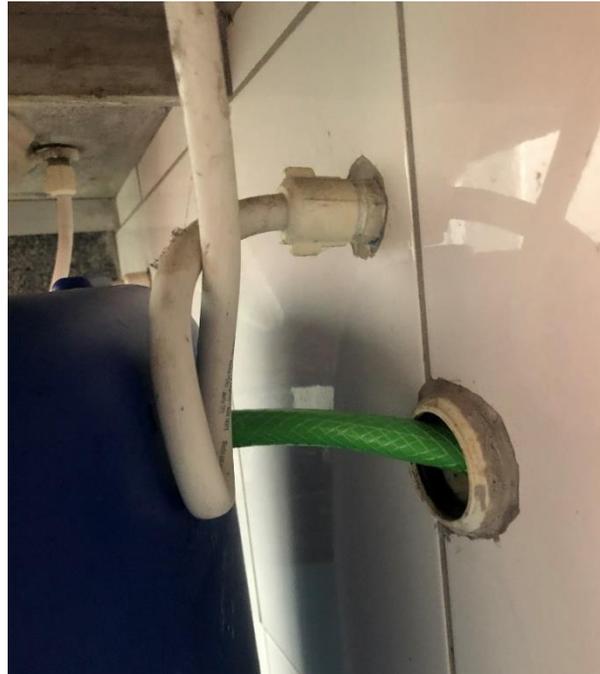
O efluente foi coletado de um banheiro masculino localizado no térreo do complexo laboratorial de biologia e engenharia florestal na UFS, Campus São Cristovão, por meio de um reservatório de 50 litros instalado abaixo de um dos lavatórios (Figura 25). Foi inserida uma mangueira que serviu para passagem do excesso de água cinza para a rede de coleta, conforme a Figura 26.

Figura 25: Reservatório para coleta de água cinza.



Fonte: Autor (2021).

Figura 26: Detalhe de mangueira para passagem do excesso do efluente.



Fonte: Autor (2021).

A escolha do banheiro masculino do térreo resultou de um diálogo com a pessoa responsável pela limpeza dos banheiros do complexo e o técnico dos laboratórios. Desse modo, o banheiro com maior fluxo de uso foi o banheiro masculino do térreo, pois, não só há um maior movimento de pessoas do gênero masculino, como também os laboratórios do térreo costumam serem mais frequentados em comparação aos do primeiro andar.

Para a realização da coleta de amostras, retirou-se a mangueira de passagem do excesso de água cinza da rede de coleta e inclinou-se o reservatório para que a água cinza saísse por essa mangueira. Foram utilizadas duas garrafas plásticas limpas de 1,5 litros para coletar 3 litros do efluente. Cabe destacar que os procedimentos de coleta foram realizados com o uso de máscara, jaleco e luvas de látex, equipamentos de proteção, para evitar acidentes e contaminações, visando preservar a saúde do pesquisador e o andamento da pesquisa experimental de forma segura.

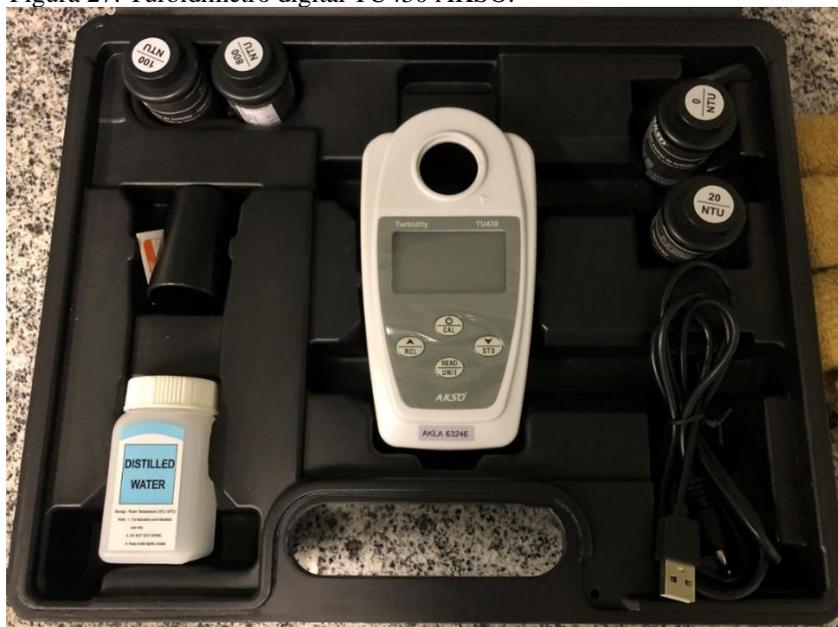
O material foi coletado em dois dias por semana, por um período de 1 mês durante a estação de verão. Devido as restrições da pandemia, não foi possível acessar laboratórios até meados de setembro de 2021, o que dificultou e atrasou o cronograma inicial de coletas em duas estações do ano. Foram coletadas um total de 8 amostras de 3 litros de água cinza dos lavatórios, onde 1 litro foi separado para realização das análises físico-químicas e microbiológicas e os outros 2 litros foram aplicados no filtro para realização do tratamento.

Após o tratamento, o efluente tratado também foi submetido as mesmas análises, sendo físico-químicas de pH, turbidez, CE, OD e microbiológica de coliformes termotolerantes. Para definição dos parâmetros qualitativos a serem analisados, baseou-se na NBR 13.969 (ABNT, 1997) que oferece alternativas de procedimentos técnicos para o projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos de tanques sépticos, com o intuito de verificar quais características são regulamentadas pela mesma, e assim, avaliá-las para sugerir possíveis destinações do efluente a ser tratado nesse estudo.

Os resultados foram tabulados utilizando planilhas eletrônicas e comparados a análises documentais locais e nacionais que servem de referência para o reúso de água. As amostras foram analisadas seguindo os Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (SMEWW, 2017).

As amostras para análises físico-químicas foram levadas para o Laboratório de Saneamento e Hidráulica, Instituto Federal de Sergipe, campus Aracaju, onde foram realizadas leituras de turbidez, pH, CE e OD. A leitura de turbidez foi realizada por meio de um turbidímetro digital modelo TU430 da AKSO, representado na Figura 27, onde após a devida calibração do aparelho, foram realizadas 5 leituras seguidas para se obter um valor médio do parâmetro. Em relação as análises de pH, condutividade e OD, as mesmas foram realizadas por meio de uma sonda multiparâmetros AK88 da AKSO (Figura 28), onde após sua devida calibração, as sondas eram inseridas num Becker contendo 200 ml da amostra e após estabilização das leituras, foram anotados os valores.

Figura 27: Turbidímetro digital TU430 AKSO.



Fonte: Autor (2021).

Figura 28: Medidor multiparâmetros AKSO.



Fonte: Autor (2021).

As amostras para análise microbiológica de coliformes termotolerantes foram inicialmente levadas para o Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS), porém não houve disponibilidade para análise de todas amostras, então somente as 4 primeiras amostras foram analisadas pelo ITPS. O método utilizado foi o de determinação quantitativa pela técnica de tubos múltiplos (NMP) (SMEWW, 2017). As outras 8 amostras, sendo quatro delas de efluente bruto e quatro de efluente filtrado, foram analisadas no Laboratório Hmartins, pela técnica de Membrana Filtrante (UFC).

A eficiência do filtro será verificada de acordo com o modelo proposto por Von Sperling (2014) o qual está expresso na Equação 3. Por meio da caracterização das amostras antes e após o tratamento, será possível concluir a eficiência do tratamento e suas possíveis aplicações para o reúso em fins não potáveis.

$$E = \frac{C_a - C_e}{C_a} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

E: Eficiência (%);

C_a: Concentração afluente (UNID);

C_e: Concentração efluente (UNID).

4.8 Parâmetros de dimensionamento do tratamento em escala real

Para uma aplicação do tratamento visando atender indicadores socioambientais de consumo de água do judiciário de Sergipe foi realizado um levantamento empírico estimativo de produção de águas cinzas de lavatórios do fórum de comarca da cidade de Indiaroba/SE, unidade do judiciário de Sergipe, para dimensionar um filtro para tratamento em escala real, com capacidade para tratar grandes quantidades de águas cinzas.

Foram cedidas para o estudo, as plantas baixas arquitetônicas e também as plantas de instalação de água e esgoto. Há no fórum, uma instalação de reúso de águas pluviais, e foi esse um dos motivos para escolha dessa unidade, por ser familiarizada e consciente das possibilidades de reúso.

O fórum fica situado na Praça João Alves Filho, 87, Centro, Indiaroba/SE. Foi solicitado ao TJSE dados a respeito da quantidade de funcionários que trabalham no local (Apêndice A), mas a informação não foi fornecida por completo. A portaria 70/2019 do TJSE regulamenta que o quadro de servidores do fórum de Indiaroba deve ser composto por três técnicos, dois assessores de juiz e três executores de mandado, mas além destes são necessários funcionários de serviços gerais e vigilantes ou seguranças. Sendo assim, o estudo baseou-se em uma estimativa média de 25 funcionários, abordando por meio de metodologias de outros estudos similares as proporções e parâmetros para funcionamento adequado do tratamento.

4.8.1 Estimativa do consumo de água

O TJSE conta com uma página derivada do site oficial que apresenta planilhas e gráficos referentes ao consumo de água, energia, papel e recicláveis de cada unidade do estado, chamada de “Euajudooplaneta” (TJSE, 2022). A partir dela, foi verificado o consumo médio mensal e anual da unidade de estudo. Por meio da planta arquitetônica cedida pelo órgão judiciário (Apêndice B), foi possível verificar a quantidade de banheiros e lavatórios presentes na edificação.

O consumo total diário de água no aparelho de lavatório, de uso individual, foi considerado com base na metodologia de Marinoski e Ghisi (2008), apresentada logo abaixo pela Equação 4:

$$C_{\text{médio aparelho}} = f_i * t_i * Q \quad (4)$$

Onde:

C_{médio aparelho}: Consumo médio diário de água per capita do aparelho (litros/dia/pessoa);

f_i: Frequência diária de uso do aparelho (número de vezes/dia);

t_i: Tempo diário de uso do aparelho (segundos/dia);

Q: Vazão do aparelho (litros/segundo) igual a vazão de projeto das torneiras de lavatórios indicado na NBR 5.626/98.

No cálculo de consumo diário total de água nas torneiras dos lavatórios, considerou-se como usuário do sistema um total de 25 funcionários, como mostrado na Equação 5 (MARISNOSKI e GHISI, 2008).

$$C_{\text{total aparelho}} = C_{\text{médio aparelho}} * P \quad (5)$$

Onde:

C_{total aparelho}: Consumo total diário de água no aparelho sanitário;

P: Número total de usuários que fazem uso sistema do sistema.

4.8.2 Filtro em escala real

O dimensionamento da área superficial do filtro será realizado em função da taxa de aplicação superficial, conforme Equação 6:

$$TAS = \frac{Q}{A} \quad (6)$$

Onde:

TAS: Taxa de aplicação superficial (L/dia.m²)

Q: Vazão (L/dia);

A: Área superficial (m²).

A Norma Brasileira NBR 13.969 (1997) estabelece que a taxa de aplicação para cálculo da área superficial do filtro de areia deve ser limitada a 100 L/dia.m², quando da aplicação direta dos efluentes do tanque séptico. Para o dimensionamento do filtro considerando o volume médio de efluentes cinzas de lavatórios produzidos no fórum, utilizou-se um coeficiente de segurança de 2,0 multiplicado ao volume médio, o que garante que em situações de grande aumento no fluxo de pessoas no fórum, o tratamento permaneça efetivo.

Para o dimensionamento do filtro considerado o volume médio de segurança produzidos no edifício do fórum de 243,5 L/dia. Admitindo que o filtro terá forma circular, o diâmetro do filtro foi dado pela Equação 7:

$$D = \sqrt{\frac{Q.4}{TAS.\pi}} \quad (7)$$

Em relação à altura de cada camada, o filtro deve ter no máximo 1,2 metros de altura, com isso realizou-se um estudo proporcional em relação ao filtro piloto, ficando definidas as alturas proporcionais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Características de funcionamento do filtro

Com a seção transversal do filtro e a vazão afluyente média de funcionamento foi possível determinar a taxa de filtração média, pela Equação 2. Como a área da seção transversal do meio filtrante foi de 0,00636 m², e a vazão afluyente média calculada para o filtro em operação de batelada foi de 0,07344 m³/dia, buscou-se calcular a taxa de filtração do filtro. Dessa forma, chegou-se a uma taxa de filtração média de 11,55 m³/m².dia. A Tabela 5, apresenta os dados de volume, vazão e taxa de filtração utilizados para cálculo dos valores médios.

Tabela 5: Dados de funcionamento do filtro.

Volume (mL)	Tempo (min)	Vazão (mL/min)	Taxa de filtração (m³/m².dia)
100 mL	2,1	47,62	10,78
500 mL	9,46	52,85	11,97
1000 mL	19,03	52,54	11,9

Fonte: Autor (2022).

Com as taxas de filtração observadas durante o funcionamento do tratamento, classifica-se como filtro lento, pois segundo Pizzolatti (2010), a taxa de filtração lenta é cerca de 20 a 50 vezes menor que os filtros rápidos com valores entre 2 a 14 m³/m².dia. O regime do filtro é de fluxo descendente, com múltiplas camadas de leito granular e poroso. Foram filtrados um total de 20 litros de água cinza, mas não foi possível monitorar o filtro até a sua colmatação, ficando como proposta para futuros trabalhos.

A Figura 29 ilustra as duas primeiras amostras coletadas, uma da água cinza bruta e outra da água cinza filtrada, onde é possível notar o aspecto de coloração e limpidez na água pós tratamento, o que segundo Belisário (2018) é essencial, pois cor e turbidez são parâmetros fundamentais para garantir a aceitação do usuário em relação aos mais diversos usos.

Figura 29: Aspecto visual da primeira amostra coletada.



Fonte: Autor (2022).

5.2 Características físico-químicas dos materiais

5.2.1 Escaneamento por fluorescência de raios X por energia dispersiva

O resultado do ensaio de FRX com amostra do resíduo de construção e demolição está apresentado na Tabela 6 abaixo, onde se encontram os elementos que obtiveram porcentagem de massa superior a 0,1% na amostra analisada.

Tabela 6: Análise de FRX do RCC.

Elementos	% em massa
Silício (Si)	63,65
Alumínio (Al)	15,45
Cálcio (Ca)	14,43
Enxofre (S)	2,42
Ferro (Fe)	2,34
Potássio (K)	1,03
Titânio (Ti)	0,47

Fonte: Autor (2022).

A presença em alta concentração do elemento Silício (Si) é bastante coerente com outros estudos, já que há abundante utilização de areias na produção de concretos e argamassas. Para Lasso et al. (2013) essa alta concentração está aliada à produção do concreto, onde se utilizam, normalmente, três medidas de areia, uma de pedra e uma de cimento, se for para aplicação estrutural, ou nove medidas de areia, duas de cal e uma de cimento, caso seja para reboco. A Tabela 7 abaixo, apresenta a composição de óxidos presentes com massa superior a 0,1% no RCC.

Tabela 7: Análise FRX com óxidos em RCC.

Óxidos	% em massa
SiO₂	65,76
Al₂O₃	16,93
CaO	11,43
SO₃	2,68
Fe₂O₃	1,86
K₂O	0,73
TiO₂	0,47

Fonte: Autor (2022).

A formação de minerais como o quartzo no resíduo é dada, principalmente, pela presença de sílica (SiO₂), que é o principal óxido encontrado em resíduos oriundos da construção civil. Nos trabalhos de Lasso et al. (2013) e Neto, Amorim e Ingunza (2019) foram constatadas concentrações de SiO₂ de aproximadamente 80% e 40%, respectivamente, para resíduos de construção e demolição. Já Silva et al. (2019), obtiveram um total de 55% do mesmo óxido em resíduos de origem cerâmica, tornando a presença de 63,65% de silício no RCC do estudo, um dado equivalente aos 65,76 % de SiO₂.

Um elemento que chama atenção em sua concentração é o Alumínio, pois normalmente grandes concentrações de Al e Fe, indicam a predominância de materiais cerâmicos. Na formação de compostos sílico-aluminosos, que têm como componentes principais os óxidos SiO₂ e Al₂O₃, a relação entre esses óxidos determina o caráter básico ou ácido do componente químico (SILVA et al. 2019). Apesar da baixa concentração de Fe e de Fe₂O₃, é um elemento caracteristicamente presente em resíduos cerâmicos, pois, é devido à própria composição da matéria desse tipo de resíduo, o aspecto em sua coloração avermelhada.

Além do Silício e Alumínio, outro elemento que se destaca é o Cálcio com teor médio de quase 15 % e teor em forma de óxido de 11,43%. Essa expressiva quantidade de Ca pode ser

proveniente do carbonato de cálcio (CaCO_3) do calcário presente no cimento portland e na cal hidratada, formado pelo óxido de cálcio CaO com gás carbônico CO_2 , utilizados para elaborar concretos e argamassas, sendo o calcário uma das principais matérias-primas desses materiais de construção. Lasso et al. (2013), encontraram 8% de cálcio em forma de óxido em resíduos oriundos de concreto e argamassas, enquanto Neto, Amorim e Ingunza (2019), identificaram somente 2,25% de Ca em seus resíduos de construção e demolição. A baixa presença de cálcio sugere a predominância de resíduos cerâmicos dentro dos resíduos da construção civil do estudo em questão.

5.2.2 Análise Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T.)

As características dos poros, como área, volume e superfície específica do biocarvão, foram mensuradas pela análise de superfície B.E.T., com quantificação da área superficial, volume e diâmetro médio de poros (Tabela 8).

Tabela 8: Características dos poros.

Amostra	Área superficial (m^2/g)	Volume de poros (cc/g)	Diâmetro médio de poros (Å)
Biocarvão do bagaço da laranja	365,80	0,33	18,15

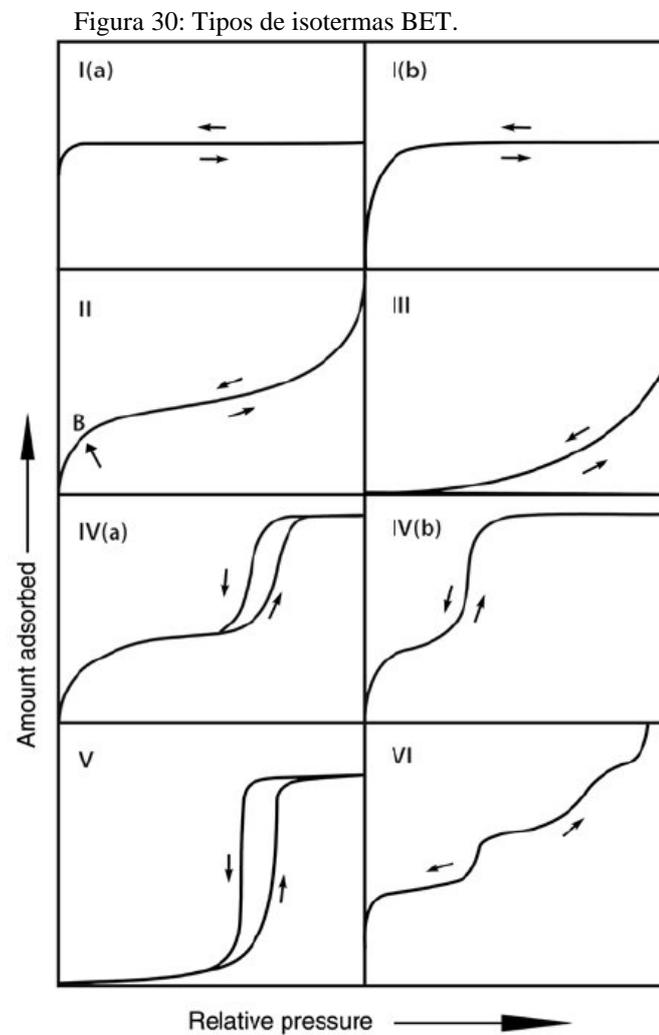
Fonte: Autor (2022).

Conforme a classificação por dimensão, é possível observar que o biocarvão tem predominância de microporos, possuindo diâmetro médio de poros inferior a 20 Å . Para Jesus (2016), o aumento na área superficial dos biocarvões em relação às suas biomassas precursoras se dá devido ao processo de pirólise em determinadas temperaturas. A temperatura atua na fragmentação dessas partículas, formando uma microestrutura, a qual aumenta a área superficial do biocarvão (ZHANG et al., 2015).

No estudo de Sousa (2018), foram produzidos diversos biocarvões em variadas temperaturas de pirólise, a maior área específica encontrada foi de $132 \text{ m}^2/\text{g}$, para o biocarvão de eucalipto à 600 °C . Na produção do biocarvão da casca de laranja à 350 °C por Jesus (2016), encontrou-se uma área superficial de $261,23 \text{ m}^2/\text{g}$ com predominância de macroporos. Apesar do valor encontrado nesse estudo ser superior em relação ao demais, pode ser associado a questões como o teor de cinzas presente no biocarvão, assim como a variabilidade da temperatura na pirólise, demarcando características diferentes de outras produções.

Para Pessoa (2019), quando o estudo do fenômeno de adsorção é feito com o objetivo de se obter informações sobre a área específica e a estrutura porosa de um sólido, a construção de uma isoterma de adsorção é de fundamental importância, pois sua forma revela muitos detalhes sobre as características do material. Muitas vezes, as curvas de adsorção e dessorção não são coincidentes, resultando em uma histerese.

Uma isoterma de adsorção pode ser obtida de forma experimental através da medida da quantidade de gás adsorvido para valores crescente de pressão até atingir a saturação ($P/P_0 = 1$), ponto no qual todo o gás é condensado. De forma inversa, a partir de P_0 , obtém-se a isoterma de dessorção (GUILHEN, 2018). A Figura 30, apresenta os seis tipos principais de isotermas, sendo as cinco primeiras idealizadas por Brunauer, Deming, Deming e Teller e a sexta acrescentada posteriormente por Sing.

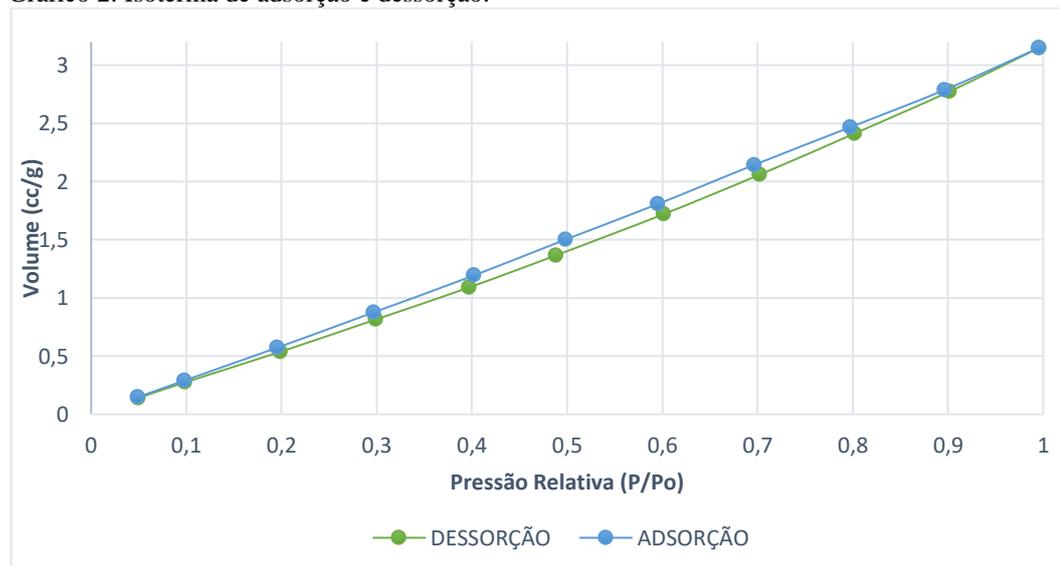


As isotermas I são características de materiais microporosos. As isotermas do Tipo I (a) são características de materiais com microporos estreitos, enquanto que as do Tipo I (b) incluem

microporos mais largos e possivelmente mesoporos estreitos. Já as isotermas do Tipo II estão associadas a materiais não porosos ou macroporosos, assim como as isotermas do tipo III. As isotermas do Tipo V, assim como as do Tipo III, são pouco frequentes e indicam fraca interação entre o adsorvente e o adsorvato, embora sejam típicas de sólidos mesoporosos. As isotermas do Tipo IV (a), características de adsorventes mesoporos de maior largura, juntamente com a do Tipo V, apresentam histerese. Enquanto que as isotermas do IV (b) são observadas em adsorventes mesoporosos de menor largura. Por fim, as isotermas do tipo VI são raras e ocorrem em superfície uniformes não porosas (THOMMES et al. 2015).

As isotermas de adsorção e dessorção calculadas para o biocarvão estão expressas no Gráfico 2, onde é possível notar que a mesma não se encaixa perfeitamente em nenhum dos modelos de classificação de isotermas BET. A isoterma apresenta um comportamento linear, indicando que a quantidade adsorvida é proporcional a concentração do fluido, não indica uma capacidade máxima para adsorção.

Gráfico 2: Isoterma de adsorção e dessorção.



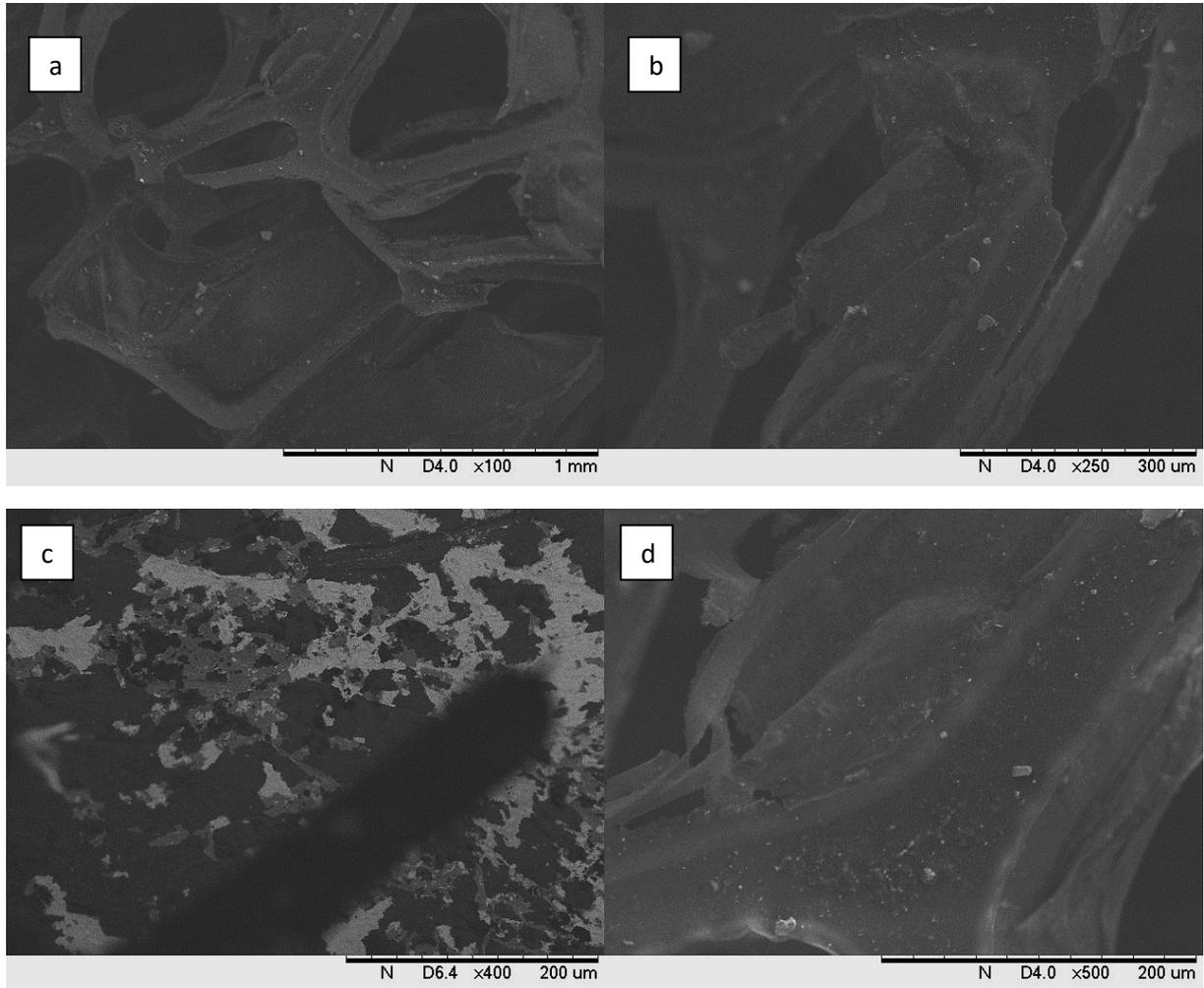
Fonte: Autor (2022).

5.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Foram realizadas análises de MEV tanto para a esponja de poliuretano, quanto para o biocarvão do bagaço da laranja. As esponjas foram avaliadas com aproximação de 100x, 250x, 400x e 500x, respectivamente, conforme a Figura 31. O aspecto observado é uma visão

ampliada do interior da estrutura celular, a qual reproduz as relações tridimensionais das células transversas e as membranas celulares da formação do polímero.

Figura 31: Imagens microscópicas de esponja de poliuretano, (a) 100x; (b) 250x; (c) 400x; (d) 500x.



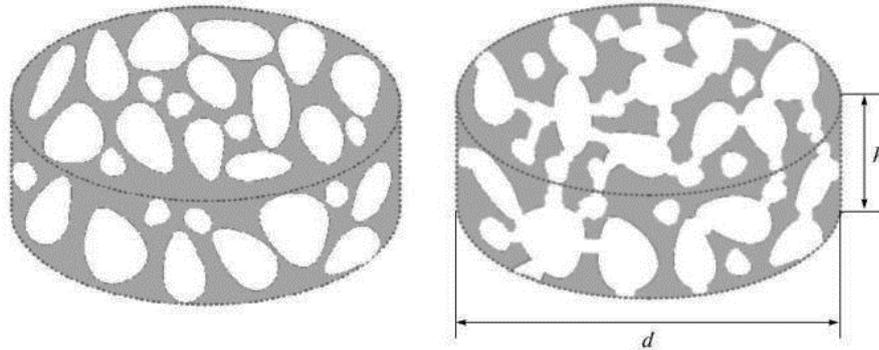
Fonte: Quimtec (2021).

Pode-se observar na fotomicrografia 100x, a existência de poros não uniformes. Segundo Albuquerque (2017), essa heterogeneidade na forma e tamanho das células é considerada normal quando se trata de materiais celulares de Poliuretano. Nota-se também que as células permanecem como um filme não colapsado, fenômeno que é bastante frequente, pois durante a fase de espumação é comum algumas células permanecerem parcialmente fechadas.

O grau de abertura das células interfere diretamente na capacidade de sorção do material esponjoso. Conforme Kumpanenko et al. (2015), esse grau de abertura, apresentado na Figura 32, é responsável pela permeabilidade do material. Observa-se fragmentos de esponjas de

poliuretano com as células fechadas no lado esquerdo da figura e com células parcialmente abertas no lado direito.

Figura 32: Fragmentos de esponjas de poliuretano.



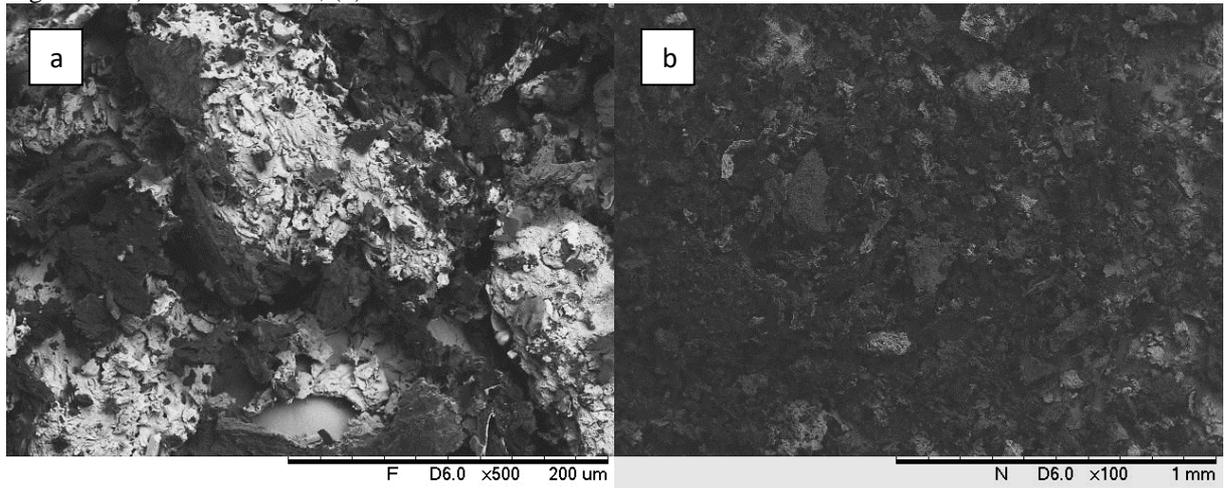
Fonte. KUMPANENKO et al. (2015).

Analisando-se as fotomicrografias, é notável o grau de abertura com células abertas e também uma superfície lisa, mas com alguns rejeitos. É provável que a película escura que cobre em alguns locais a superfície da célula seja tinta ou massa tingida com corante, já que a esponja era utilizada para fins de acabamento de paredes e lavagem de veículos. A abertura de células traz como vantagem a permeabilidade de líquidos no material, o poder de sorção e um leque de possibilidades de aplicação para essas esponjas.

No estudo de Pinto, Athanassiou e Fragouli (2016), todas as espumas estudadas apresentaram uma estrutura de célula aberta, com praticamente todos os poros disponíveis para armazenar óleo. Um outro estudo, de Abreu e Galdino (2017), também caracterizou uma esponja comercial de poliuretano e chegaram a mesma conclusão sobre sua estrutura de célula aberta.

Em relação ao biocarvão produzido, foi possível verificar a morfologia do mesmo e compara-lo com outros biocarvões presentes na literatura. Ao observar a amostra de biocarvão em 100x e 500x (Figura 33) é possível verificar a coloração mais acinzentada, isso se deve ao fato da mufla ter apresentado variações de temperatura de até 600 ° C e além disso, por estarem sem tampa, a pirólise nas capsulas de porcelana influenciou diretamente na formação de cinzas. Os componentes orgânicos e inorgânicos (cinzas) podem afetar a estrutura porosa do biocarvão, com a elevação da temperatura de pirólise, aumentos na decomposição e ou reação no arranjo e estrutura do carbono (CHIA et al. 2015).

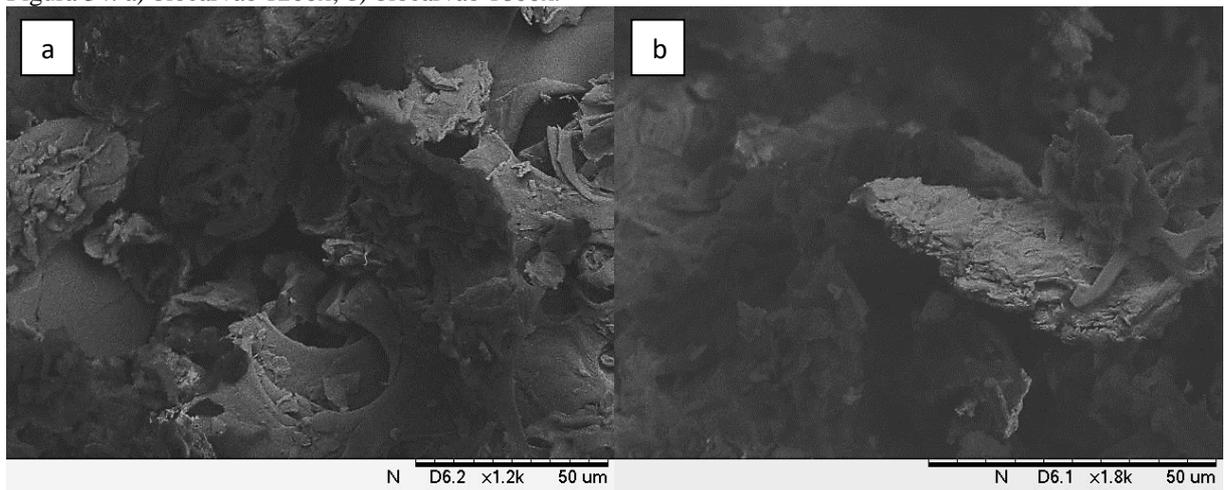
Figura 33: a) biocarvão 100x; (b) biocarvão 500x.



Fonte: Quimtec (2021).

A disposição dos poros, a forma e a distribuição das partículas são características diferenciadas entre as matérias-primas dos biocarvões. Conforme a Figura 34, não é possível observar macroporos ou mesoporos na região superficial da amostra, indicativo de que possua na sua maioria, microporos, o que foi confirmado pela Tabela 8.

Figura 34: a) biocarvão 1200x; b) biocarvão 1800x.



Fonte: Quimtec (2021).

Diferentemente de outros estudos, como o de Carvalho (2018) com um biocarvão do bagaço da laranja com mesoporos e Pessoa (2019) com um biocarvão do endocarpo do açaí com estrutura de mesoporos e macroporos, nesse estudo pode-se observar um biocarvão microporoso. Por conseguinte, isso contribuiu diretamente para uma maior área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas. A estrutura

do biocarvão é composta por partículas com cavidades arredondadas com profundidade e abertas, podendo ser causadas pela liberação da matéria volátil, resultado que pode ser associado à presença de material mineral que ocasiona um acréscimo da desintegração de suas partículas.

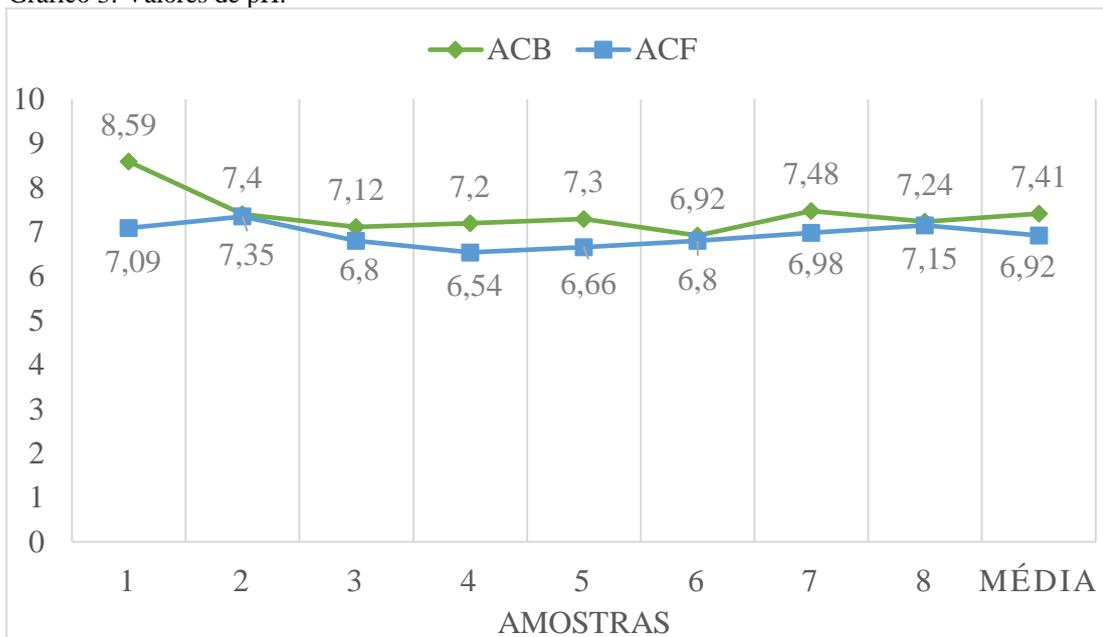
5.3 Eficiência do tratamento

Nos tópicos a seguir, é discutida uma caracterização da água cinza bruta (ACB) e água cinza filtrada (ACF), para cada parâmetro físico-químico e microbiológico analisados por meio de amostras. Por fim, há uma análise geral de eficiência do tratamento e indicação das possibilidades de reutilização do efluente perante as legislações de reuso.

5.3.1 Potencial hidrogeniônico (pH)

No gráfico 3, estão apresentados os valores de pH de cada amostra de ACB e ACF, onde o último valor diz respeito a média aritmética dos resultados.

Gráfico 3: Valores de pH.



Fonte: Autor (2022).

Os valores de pH mantiveram poucas alterações, com exceção da primeira amostra que o filtrado ficou 1,4 mais ácido, em todas amostras o pH da ACB foi maior que o pH da ACF. Passos, Brandão e Carvalho (2021a) ao utilizar resíduos de concreto e resíduos cerâmicos para

filtrar águas cinzas, perceberam um aumento no pH da amostra filtrada, justificado à alta presença de carbonato de cálcio, que tem influências alcalinas na água. Apesar do tratamento em questão possuir resíduos de construção, na caracterização foi identificado que a predominância foi de material cerâmico, com maior concentração dos óxidos de silício e de alumínio, em função disso não houve essa grande influência alcalina do cálcio.

Em relação a outros estudos com águas cinzas, o efluente bruto com pH médio de 7,41 aproxima-se de pH encontrados em águas cinzas de lavatórios. Chrispim e Nolasco (2017) encontraram pH entre 7 e 8 para águas cinzas de lavatório, enquanto Craig e Richman (2018) verificaram um pH de 7,9 para águas cinzas de lavatórios, chuveiro e banheira. É evidente que os produtos químicos, como sabonete e detergente, utilizados por cada usuário durante o uso de lavatórios influencia diretamente na condição ácida ou alcalina dessas águas. Além disso, o pH é um parâmetro importante para o controle do crescimento de microrganismos. Dessa forma, dentro de um sistema de tratamento, o pH tem grande influência nas reações bioquímicas ocasionadas entre efluente, agregados e microrganismos (VENSKE, 2017)

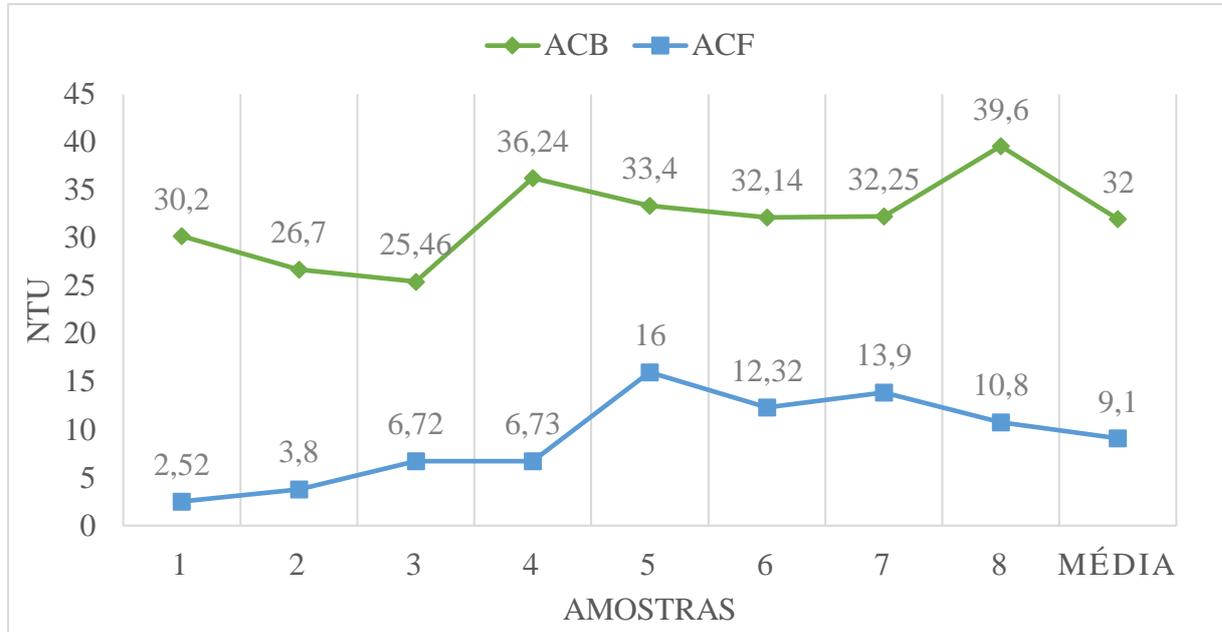
No filtro lento composto com resíduos cerâmicos do estudo de Lima (2020), o pH da água filtrada subiu 0,12 em relação ao da água bruta, saindo de um pH de 6,48 para 6,60, mostrando ser comum o comportamento de pouca variabilidade nesse parâmetro com a utilização de resíduos cerâmicos. Todos os valores encontrados de pH, bruto e filtrado, se enquadram nos critérios da Resolução CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), onde o efluente de uma fonte poluidora qualquer poderá ser lançado diretamente em um corpo receptor se obedecer a alguns quesitos, e entre eles está o pH que deve se enquadrar entre os valores 5,0 a 9,0. A recomendação da ANA (2016) para atividades de reuso não potável é que o pH se mantenha entre 6 e 9, e os resultados obtidos mantiveram uma média de 7,41, mostrando eficiência nesse quesito.

5.3.2 Turbidez (TURB)

A turbidez da água é a característica que reduz sua transparência, e é devida a presença de materiais sólidos em suspensão, os quais provocam a dispersão da luz, dando a ela uma aparência nebulosa e esteticamente indesejável. As partículas que causam a turbidez variam de suspensões grosseiras a colóides (MENDONÇA, 2019). O monitoramento de turbidez é imprescindível no controle da condição estética da água cinza tratada e a maioria dos países impõem um controle rigoroso sobre esse parâmetro. Na maioria dos casos, a turbidez da água

cinza tratada não deve exceder os limites máximos de 10 NTU (OH et al. 2018). O Gráfico 4 representa os valores encontrados de turbidez nas amostras de água cinza.

Gráfico 4: Valores de Turbidez.



Fonte: Autor (2022).

Chrispim e Nolasco (2017) encontraram turbidez de 40 NTU para água cinza bruta de lavatórios. Já Paula e Fernandes (2018), caracterizaram água cinza de chuveiro e lavatório de uma residência multifamiliar e relataram valor médio de 155,60 NTU. Para parâmetros como a turbidez, a faixa de concentração, conforme a literatura, é ampla, variando de 20 NTU (MARCH e GUAL, 2007) a 373 NTU (FIORI, FERNANDES e PIZZO, 2006), no qual é evidenciado que a qualidade da água cinza pode variar conforme as características da água distribuída, do tipo de distribuição na edificação e com as atividades em que a água é utilizada pelos usuários.

Os valores de turbidez do efluente estiveram no intervalo de 2,52 NTU a 16 NTU, o valor médio encontrado foi de 9,1 NTU. Passos, Brandão e Carvalho (2021a) revelou valor médio de 312 NTU em água cinza de chuveiro e lavatórios, após tratamento com filtro de resíduos de concreto, cerâmicos, esponjas e antracito conseguiram uma média de 13 NTU. Normalmente, tratamentos aplicados em efluentes com alta turbidez atingem resultados maiores de redução, já que a turbidez é diretamente interligada à presença de sólidos em suspensão que são retidos durante processos de filtração lenta. A importância de estabelecer limites para a turbidez é indispensável por estar relacionada à possibilidade de obstrução de encanamentos, aceitações

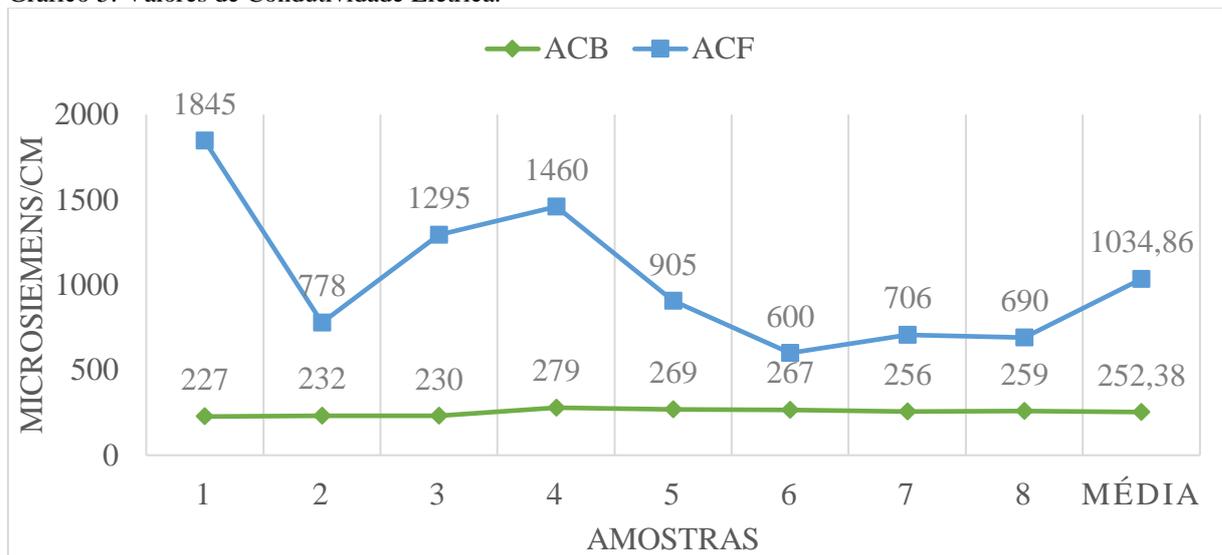
por outros usuários, interferência nos processos de desinfecção e a relação com a presença de cistos de protozoários (COUTO et al. 2015).

De acordo com o CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), o valor médio de turbidez encontrado atende aos requisitos de lançamentos em rios classe 2, caso se optasse não reutilizá-la. Concomitantemente, a NBR 13.969 (ABNT, 1997) estabelece que para utilizá-las em descargas de bacias sanitárias é necessário atender ao valor de 10 NTU, estando o valor médio encontrado nesse estudo dentro da faixa permitida.

5.3.3 Condutividade elétrica (CE)

A magnitude da concentração de sais dissolvidos na água pode influenciar direta ou indiretamente alguns de seus usos múltiplos, chegando até, em casos extremos, a inviabilizá-los (ANA, 2007). A condutividade elétrica é geralmente o parâmetro que expressa essa intensidade. O Gráfico 5, estabelece os valores medidos de condutividade elétrica nas águas cinzas.

Gráfico 5: Valores de Condutividade Elétrica.



Fonte: Autor (2022).

Nota-se que após o tratamento com o filtro, os valores de condutividade elétrica foram elevados, isso demonstra que houve influência dos materiais que compõem o tratamento no valor desse parâmetro. O valor médio encontrado da ACB (252,38 µS/cm) está próximo do relatado em outros estudos. Mendonça (2019) encontrou 216 µS/cm estudando águas cinzas oriundas de máquinas de lavar, enquanto Chrispim e Nolasco (2017) registraram 290 µS/cm em águas de lavatórios. Segundo a ANA (2007), águas com alta condutividade elétrica pode

causar a salinização de solos onde se pratica cultura irrigada, reduzir a produtividade em projetos de piscicultura, interferir em processos industriais.

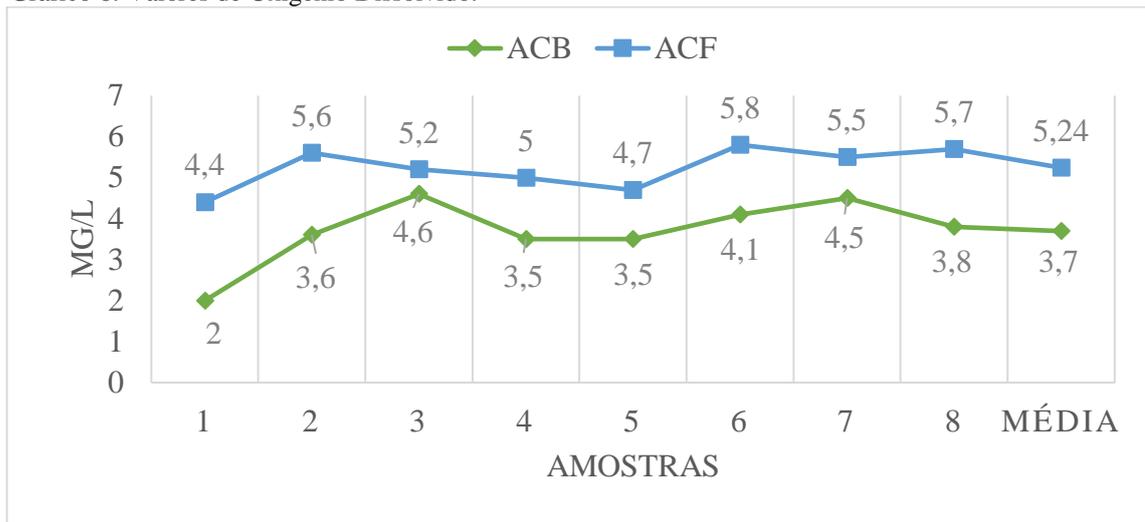
As alterações na condutividade elétrica após filtração costumam ocorrer quando os materiais constituintes do meio filtrante contêm íons monovalentes e/ou carbonatos capazes de reagir com a água (SIZIRICI et al. 2019). O aumento encontrado nesse estudo pode indicar o acúmulo de íons de cálcio, ferro e potássio nos estágios do tratamento que contém resíduos da construção civil. Quando o objetivo for utilizar a água de reúso em irrigação paisagística ou até mesmo em culturas para consumo, é sugerida a caracterização dos materiais que irão compor o tratamento anteriormente, para escolher materiais que proporcionem melhores condições em parâmetros como a CE.

Apesar do considerado aumento de condutividade, os valores obtidos ainda são inferiores ao que determina a CETESB (2006), no qual cita que a CE das águas residuárias tratadas deverá estar abaixo de $2,9 \text{ dS.m}^{-1}$ (a $25 \text{ }^\circ\text{C}$) para limitar o risco de salinização do solo, no entanto as águas residuárias que apresentem condutividade elétrica entre $0,7$ e $2,9 \text{ dS.m}^{-1}$ somente podem ser utilizados para a aplicação em solos bem drenados, sendo que as espécies cultivadas deverão apresentar alta tolerância salina. A resolução conjunta nº 01 do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2017), permite para água de reúso com condutividade entre $0,7$ e $3,0 \text{ dS.m}^{-1}$, o uso em irrigação paisagística, lavagem de logradouros e outros espaços públicos e privados, construção civil e desobstrução de galerias de água pluvial e rede de esgotos.

5.3.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

A quantidade de oxigênio dissolvido na água é um indicador de sua qualidade que está intrinsecamente relacionado a vida, uma vez que é indispensável para sobrevivência de animais aquáticos e plantas. O Gráfico 6 expressa os valores encontrados de OD nas amostras estudadas.

Gráfico 6: Valores de Oxigênio Dissolvido.



Fonte: Autor (2022).

É notório que baixos teores de OD indicam que a água recebeu matéria orgânica que foi decomposta por bactérias aeróbicas, enquanto as águas com elevados teores de oxigênio, indicam que o tratamento foi eficiente na retirada de contaminantes, sem provocar a perda de substâncias essenciais a vida animal e vegetal. Todas as amostras obtiveram aumento na concentração de OD após a filtração, a concentração média da ACF foi de 5,24 mg/L. Belisário (2018) alega ter encontrado 1,44 mg/L em águas cinzas oriundas de chuveiro, lavatório e tanque de lavagem. Já Venske (2017), verificou em água coletada do resíduo do banho e lavagem de roupas valores em torno de 8 mg/L, mostrando que é um parâmetro que tem certa variação de acordo com sua origem.

Outro fator importante no estudo do OD é que o mesmo é rapidamente consumido pelos microrganismos em reações aeróbicas nas horas seguintes a coleta sendo reduzido durante os três primeiros dias de armazenamento. Essa redução de oxigênio pode chegar a níveis tão baixos a ponto de gerar odores desagradáveis, sendo assim é essencial que haja valores aceitáveis desse parâmetro para possível reutilização.

De acordo com a NBR 13.969 (ABNT, 1997) para reúso na agricultura, na água de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, o oxigênio dissolvido mínimo deve estar acima de 2,0 mg/L. Para ocorrer a manutenção da vida aquática aeróbia exige-se níveis de oxigênio dissolvido maiores ou iguais 4,0 mg/L, uma faixa abaixo de 3,0 mg/L é considerada subletal, o que pode acarretar na morte de peixes e desequilíbrio na concentração de fitoplâncton (SNATURAL, 2011).

5.3.5 Coliformes Termotolerantes (CT)

Os coliformes são os indicadores mais comumente estudados porque estão incluídos nas regulamentações de água potável (AL-GHEETHI et al. 2016). Não obstante as contagens possam ser mais baixas em águas cinzas do que em águas negras residenciais (que possuem contribuição do efluente de vasos sanitários), a quantidade de patógenos de água cinza pode ser altamente variável (GASSIE e ENGLEHARDT, 2017). A Tabela 9 exibe os valores encontrados nas quatro primeiras amostras, verificadas pela técnica de tubos múltiplos (NMP), enquanto a Tabela 10 mostra os valores das oito últimas amostras, verificadas pela técnica de membrana filtrante (UFC).

Tabela 9: Quantificação de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL).

Amostras	NMP/100 mL	
	ACB	ACF
1	1,7x10 ²	1,1x10
2	2	<1,8

Fonte: Autor (2022).

Tabela 10: Quantificação de Coliformes Termotolerantes (UFC/100 mL).

Amostras	UFC/100 mL	
	ACB	ACF
3	1,0x10	AUSENTE
4	1,0x10	AUSENTE
5	AUSENTE	AUSENTE
6	1,0x10	AUSENTE

Fonte: Autor (2022).

Os coliformes termotolerantes são bactérias de um subgrupo de coliformes totais que se caracterizam pela presença da enzima galactosidase e pela capacidade de fermentar a lactose. A principal espécie dentro desse grupo é a *Escherichia coli* (*E. Coli*), possuindo origem exclusivamente fecal. O maior valor quantificado de coliformes termotolerantes nesse estudo foi de 1,7x10² NMP/100 mL, valor discrepante ao que normalmente é visto na literatura de águas cinzas. Belisário (2018) quantificou 2,01x10⁴ NMP/100 mL de *E. Coli* e 1,11x10⁶

NMP/100 mL de coliformes totais. Já no trabalho de Passos, Brandão e Carvalho (2021b), foi possível detectar $9,6 \times 10^2$ NMP/100 mL de *E. Coli* de águas cinzas oriundas de uma canaleta de um banheiro feminino de instituição de ensino. Oliveira et al. (2019) analisaram águas cinzas de chuveiro e lavagem de roupas e encontraram um valor médio de $4,5 \times 10$ NMP/100 mL, mais próximo do que foi quantificado por este estudo.

Apesar da variabilidade de valores para esse parâmetro, estão todos dentro do intervalo possível constatado por Oron et al. (2014), que relata a possibilidade de ser $< 1 \times 10^6$ a $2,5 \times 10^6$ NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Em relação ao efluente pós filtração, estava ausente de coliformes termotolerantes em quatro de seis amostras analisadas, sendo o maior valor encontrado de $1,1 \times 10$ NMP/100 mL.

No tratamento com resíduos não convencionais, Passos, Brandão e Carvalho (2021b) obtiveram atenuante desempenho com a redução de *E. coli*, com uma média de 90,52%. Mendonça (2019) comparou a eficiência de três tratamentos na remoção de coliformes totais, sendo eles: filtração em areia com camada de 40 cm, coagulação-floculação-decantação seguido de filtração com areia e o segundo tipo com adição de um filtro de carvão ativado. Obteve um efluente bruto com $1,119 \times 10^3$ UFC/100 mL e valores após os tratamentos de, respectivamente, $0,818 \times 10^3$, $0,516 \times 10^3$ e $0,214 \times 10^3$ UFC/100 mL.

Segundo a NBR 13.969 (ABNT, 1997), para enquadramento em todas as classes de reúso definidas, é necessário que a água tratada concentre um valor < 200 NMP/100 mL de coliformes fecais ou termotolerantes, confirmando a hipótese de que o tratamento foi eficaz na remoção desses microrganismos em todas amostras analisadas. O manual da ANA et al. (2005) define que para uso em descargas sanitárias é necessário que não haja detecção de nenhum coliforme termotolerante na água para reúso, sendo assim as duas primeiras amostras não se enquadrariam, enquanto as quatro últimas amostras atenderiam a esse requisito.

5.3.6 Eficiência geral e possibilidades de reúso

A Tabela 11 apresenta um resumo dos valores médios da ACB e ACF juntamente com a eficiência do tratamento proposto na redução ou elevação de cada parâmetro físico-químico e microbiológico estudado.

Tabela 11: Eficiência do tratamento em relação aos parâmetros analisados.

Parâmetro	Valores médios		Eficiência
	ACB	ACF	
pH	7,41	6,92	-6,61%
Turbidez (NTU)	32,00	9,10	-71,56%
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	252,38	1034,00	+310%
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	3,70	5,24	+41,62%
Coliformes Termotolerantes* (UFC/100mL)	7,50	Ausente	-100%
*Média das 4 últimas amostras, através do método de Unidades Formadoras de Colônias.			

Fonte: Autor (2022).

Embora o tratamento proposto tenha proporcionado um aumento não desejável em relação ao parâmetro de condutividade elétrica, os valores do efluente tratado final estiveram de acordo com o exigido pelas legislações. Os outros critérios estudados atenderam de forma satisfatória, percebe-se uma elevada redução de turbidez, aumento no oxigênio dissolvido nas águas e remoção total de coliformes termotolerantes. O pH obteve pequena redução, mas a critério de reutilização está dentro de todas faixas requisitadas pelos manuais e legislações do Brasil.

Comparando as características gerais das amostras estudadas com as legislações de reúso no país, a água cinza bruta oriunda de lavatórios somente poderia ser reutilizada, sem o devido tratamento, em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual, definida como a classe 4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997). De acordo com a ANA et al. (2005) somente seria possível utiliza-la em resfriamento de equipamentos e ar condicionado central, sem recirculação, como indica a classe 4. Cabe destacar, que as recomendações em caso de reúso é que haja uma etapa extra de desinfecção dessas águas, evitando o risco de contaminação em caso de contato humano ou animal.

Confrontando-se os valores pós tratamento com as mesmas legislações, é possível aplicar a água de reúso nas classes 3 e 4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997), sendo utilizada em descargas sanitárias e também como reúso nas atividades de agricultura. O único parâmetro médio que impediu o enquadramento nas duas primeiras classes foi a turbidez, todavia algumas amostras filtradas apresentaram turbidez inferior a 5 NTU e poderiam ser utilizadas também nas classes

1 e 2, que diz respeito a lavagem de carros e lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e manutenção de lagos e canais com finalidade paisagística.

Em relação as orientações da ANA et al. (2005), a ACF se enquadra, respectivamente, nos critérios das classes 2 e 4, sendo lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira e resfriamento de equipamentos e ar condicionado central, com ou sem recirculação. Alguns trabalhos reportam na literatura aplicações de água de reúso, tanto na agricultura e na descarga de vasos sanitários, quanto na lavagem de pisos ou irrigação de jardins, enfatizando, dessa forma, um caminho para o desenvolvimento sustentável.

O uso eficiente dos recursos hídricos é imprescindível, utilizar a água de melhor qualidade para fins mais nobres e as águas de chuvas, águas cinzas de origem doméstica ou industrial para seu reúso, designando uma nova finalidade antes de serem destinadas para o esgoto ou drenagem pluvial. É importante frisar também o papel das tecnologias de tratamento no desenvolvimento de sistemas de reúso com sustentabilidade e segurança hídrica, ofertando água com potencial para aplicação, reduzindo o consumo de água potável e colaborando com o desenvolvimento e meio ambiente.

Apesar de importante, ainda há uma notável barreira na disseminação das práticas de reúso de água em relação aos aspectos da aceitabilidade social. Segundo Maimon e Gross (2017), o sucesso dos projetos de reutilização de água cinza depende de muitos fatores, incluindo capacidade técnica, econômica e institucional, bem como fatores sociais, como consciência pública e aceitação. Domènech e Saurí (2010) afirmam que pelo menos quatro fatores interagem para determinar o nível de aceitação do público no reúso de águas cinzas: a percepção do risco para a saúde, o custo, o sistema de tratamento e a consciência ambiental do usuário.

Em um estudo feito em Pequim por Chen et al. (2015), os autores concluíram que mais de 90% dos entrevistados estavam dispostos a aceitar fortemente a água de reúso para descarga do banheiro, proteção contra incêndio, irrigação de jardins, limpeza de ruas, resfriamento industrial, lagos ornamentais e lavagem de carros. Por outro lado, no trabalho de Garcia-Cuerva, Berglund e Binder (2016) todos os usos propostos de água de reúso foram aceitáveis pelos entrevistados, exceto para a irrigação de culturas alimentares. Todavia, a mesma pesquisa conclui que apenas 43% da população possuem uma percepção aceitável do reúso de água e que o fator "eca" e a percepção de riscos podem afetar a disposição das pessoas em participar de programas de reutilização de água. Além disso, pessoas com níveis educacionais mais altos

podem aceitar mais facilmente o reúso de água (GARCIA-CUERVA, BERGLUND e BINDER, 2016).

Um aspecto primordial a ser enfatizado é que a reutilização das águas cinzas deverão ser sempre realizada *in situ* e em grandes fontes geradoras de águas cinzas, como é o caso dos prédios públicos. Por outro lado, ressalta-se que as alterações/adaptações para o reúso com ou sem tratamento colidem na dificuldade de execução e custo, especialmente por esbarrar em diversas legislações voltadas ao setor público (MELO, CORDEIRO e SALES, 2021). Um dos principais desafios relacionados aos sistemas de reúso de águas cinzas é o custo-benefício na implantação desses sistemas, já que o período de retorno depende diretamente de o sistema ser implantado em novos edifícios ou em edifícios já consolidados.

5.4 Dimensionamento para aplicação do tratamento

Foram colhidas informações em relação ao consumo médio anual de água potável do fórum de Indiaroba nos últimos quatro anos, apresentadas na Tabela 12, onde é possível denotar um crescimento progressivo no consumo de água ao longo dos anos.

Tabela 12: Consumo médio de água por mês do fórum de Indiaroba/SE.

Consumo médio mensal de água (m ³)			
2018	2019	2020	2021
15	17	22	29

Fonte: TJSE

Sabendo-se do consumo médio mensal da unidade, aplicou-se a metodologia de Marinowski e Ghisi (2008) e realizou-se um levantamento empírico do consumo médio diário de águas cinzas por aparelho dos lavatórios da unidade de fórum de Indiaroba, a Tabela 13 apresenta os valores médios encontrados:

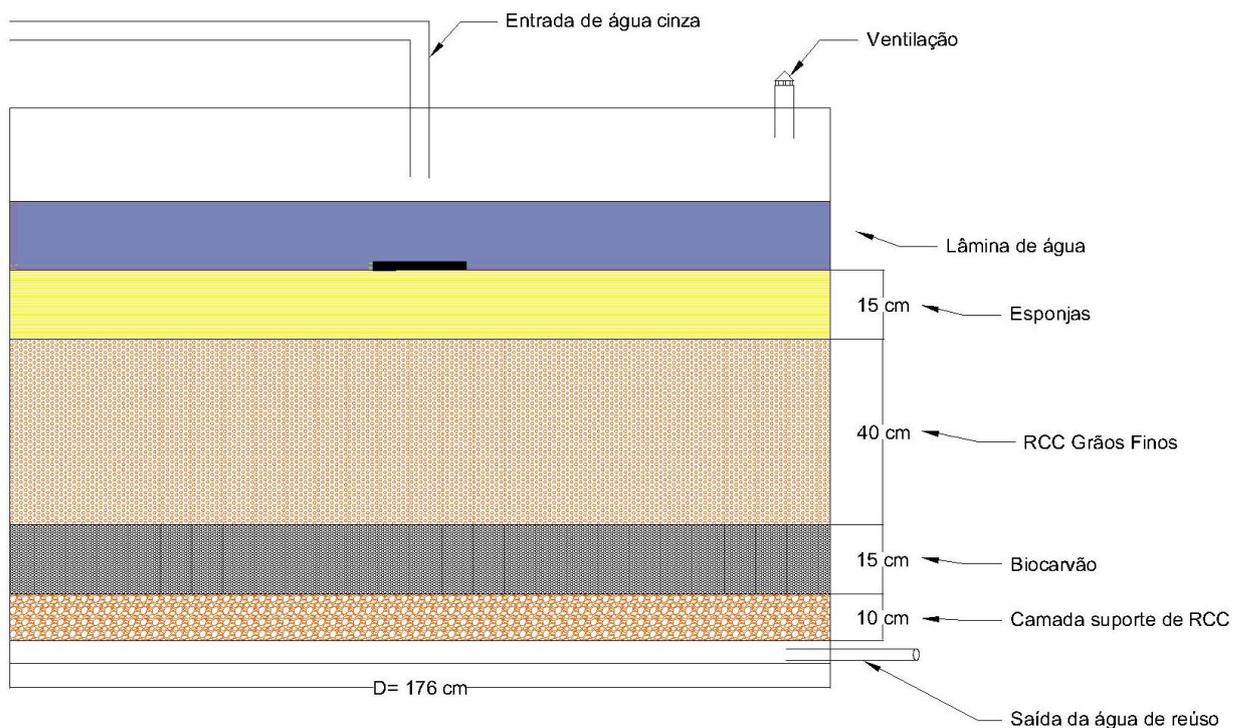
Tabela 13: Consumo estimado de água de lavatórios no fórum de Indiaroba/SE.

Referência	Quantidade de pessoas	Consumo médio nos lavatórios por pessoa (l/dia/pessoa)	Consumo médio <i>per capita</i> nos lavatórios (l/dia)	Consumo mensal nos lavatórios (l)
Funcionários	25	4,87	121,75	2435

Fonte: Autor (2022).

Foi dimensionado um modelo de filtro em escala real para atender a vazão de 243,5 litros por dia, ou seja, o dobro do que foi estimado na tabela anterior. Isso se justifica pelo fato de o fórum ser aberto ao público e receber diariamente pessoas fora do quadro de funcionários, o que pode aumentar a produção de águas cinzas nos lavatórios estudados, deste modo adota-se um coeficiente de segurança para o dimensionamento, que nesse estudo foi de 2 vezes a vazão média diária. A partir da metodologia e de adaptações práticas de dimensionamento, as medidas do filtro em escala real podem ser visualizadas na Figura 35:

Figura 35: Filtro em escala real de tratamento.



Fonte: Autor (2022).

O sistema proposto segue de acordo com os requisitos normativos da NBR 13.969 (ABNT, 1997) que descreve usos não potáveis de águas residuárias após o tratamento, logo, as águas provenientes das torneiras dos lavatórios seriam captadas através de tubulações específicas e destinadas ao filtro de camadas múltiplas de esponjas, resíduos da construção civil e biocarvão. Por conseguinte, os poros do meio filtrante juntamente com a adsorção seriam os responsáveis por reter os sólidos sedimentáveis, promovendo um tratamento de remoção nas concentrações de sólidos e coliformes termotolerantes.

Após passar pelo filtro, as águas cinza seriam destinadas para um reservatório onde passaria por um processo de cloração, para posteriormente ser bombeada até um reservatório exclusivo

de água não potável (Figura 36), podendo ser utilizadas para as descargas dos efluentes dos vasos sanitários ou para irrigações de culturas.

Figura 36: Esquema de pós tratamento.



Fonte: Autor (2022).

Os sistemas de tratamento para águas cinzas são processos simples, que contêm os requisitos normativos para fins que não exigem o uso da água potável como é o caso das descargas de vasos sanitário. Dessa forma, qualquer instituição que deseje incorporar projetos de reúso de águas cinzas promoverá o uso racional da água, deixando de desperdiçar água potável procedentes de fontes superficiais, que é considerada uma quantidade baixa de água doce no planeta e só deveria ser utilizada em finalidades mais nobres.

É importante destacar a escolha de sistemas de reúso de águas cinzas enquanto uma opção de baixo custo, todavia para implementá-los em edifícios em funcionamento apresenta alguns fatores resistentes. O primeiro deles é o investimento inicial, para quebrar paredes e fazer a instalação de toda tubulação exclusiva de reúso acaba requerendo um valor inicial maior. O segundo fator é a própria reforma ou inclusão do sistema, interrompendo ou parando o pleno funcionamento do edifício por determinado período de tempo. O terceiro fator é associado à aceitabilidade social da água de reúso, embora haja uma dada progressão no sentido de educação ambiental na atualidade, ainda há uma elevada resistência em determinadas atividades não potáveis. Por fim, a deficiência de legislação específica e regulamentadora para

dimensionamento e tratamento de águas cinzas, padronizando os sistemas e elevando a confiabilidade das pessoas nos processos.

Em seu estudo acerca da implementação de um sistema de reúso de águas cinzas com wetlands na PUCMINAS, Teixeira et al. (2019) verificou que apesar de ser necessário o alto investimento inicial de R\$ 57.291,22, com a economia de \$ 3.060,59 por mês o valor seria pago em 1 ano e 6 meses, tornando-o viável. Já no estudo de Barbosa, Alves e Vazquez (2019) percebeu-se que para um conjunto de residências unifamiliares o tempo de retorno do investimento inicial seria próximo de 10 anos, não sendo viável economicamente.

Logo, é fundamental um estudo de viabilidade financeira para cada caso a ser aplicado, há estudos que relatam que o reúso de águas cinzas associados a sistemas de aproveitamento pluvial se tornam mais rentáveis e eficientes. De qualquer modo, é notável a contribuição desses sistemas na redução do consumo de água, podendo serem utilizados pelas unidades do tribunal de justiça a serem implementadas futuramente, aliando o desenvolvimento sustentável com a responsabilidade socioambiental de órgãos públicos. Antunes, Thives e Ghisi (2016) relatam que em prédios públicos o potencial de economia de água potável pode chegar a 75,7 % utilizando sistemas combinados de aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas.

A modulação da ciência progride assim, através de pesquisa, método e possíveis aplicações e contribuições para toda a sociedade. Os contributos do estudo serão colhidos por outros pesquisadores ou instituições que se interessem em aplicar tecnologias sustentáveis, evitando o descarte de resíduos que podem ser aproveitados, reduzindo os impactos no meio ambiente e contribuindo com maior durabilidade dos recursos hídricos existentes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos objetivos do estudo, foi possível constatar a hipótese e corroborá-la, já que o tratamento proposto com esponjas utilizadas, resíduos da construção civil e biocarvão do bagaço da laranja apresentou um funcionamento efetivo. Os resíduos da construção civil foram efetivos enquanto substitutos da areia, sua composição química não desfavoreceu o tratamento e permitiu uma filtração equilibrada. Em relação as esponjas, foi possível visualizar seus poros, confirmando seu potencial filtrante para determinados sólidos. O biocarvão do bagaço da laranja foi caracterizado com maior incidência de microporos, embora tenha sido reduzido o seu rendimento devido a flutuação de temperatura no forno mufla, foi eficiente na remoção de cor e adsorção de partículas dissolvidas no efluente.

Tratando-se da eficiência físico-química e microbiológica, as análises pós tratamento indicaram redução de 6,61% no pH, 71,56% na turbidez e 100% de remoção de coliformes termotolerantes. Já os parâmetros que sofreram elevação obtiveram 310% de aumento na condutividade elétrica e 41,62% a mais de oxigênio dissolvido nas águas cinzas. Apesar do elevado aumento na condutividade, a água cinza final esteve dentro dos parâmetros aceitáveis de legislações brasileiras e internacionais. Em conformidade com a NBR 13.969 (ABNT, 1997) e levando em consideração os valores médios, a água final pode ser reutilizada em descargas de vasos sanitários e reúso na agricultura, classes 3 e 4. Perante as orientações da ANA (2005), se enquadra, respectivamente, nos critérios das classes 2 e 4, sendo lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira e resfriamento de equipamentos e ar condicionado central, com ou sem recirculação.

Constatou-se a supracitada necessidade de legislação específica para regulamentar o reúso de águas cinzas, tanto tratando do dimensionamento das unidades de tratamento, quanto em relação aos parâmetros finais de controle do efluente final. Desse modo, é possível atrair maior confiabilidade aos processos e também garantir sustentabilidade, saúde e segurança para a população e o meio ambiente. A viabilidade de implantação de sistemas de reúso de águas cinzas ou sistemas mistos com aproveitamento pluvial são propostas para pesquisas futuras, considerando que cada caso estudado pode ser financeiramente viável ou não. Além disso, esse estudo poderá servir como referência para desenvolvimento de tecnologias de reutilização com padrões semelhantes, ou para estudos que visem entender o processo de manutenção e vida útil dos materiais com filtração contínua durante meses.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes- Projeto, construção e operação – NBR 13.969**. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO (ABRECON). **Pesquisa setorial da reciclagem de resíduos da construção 2014/2015**. 2015. Relatório 2. 26 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Acesso em: 22 nov. 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>.
- ABREU, M. S.; GALDINO, A. G. S. Caracterização microestrutural de compósitos de hidroxiapatita-alumina confeccionados pelo método da esponja polimérica. **Cerâmica**, v. 63, n. 365, p. 34-38, 2017. <https://doi.org/10.1590/0366-69132017633652027>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. 124 p. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/PANORAMA%20DO%20ENQUADRAMENTO.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Indicadores de qualidade: Índice de qualidade das águas (IQA)**. Portal da qualidade das águas. 2016. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadoresindice-aguas.aspx>>. Acesso em: 16 mai. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Água no mundo**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/textos-das-paginas-do-portal/agua-no-mundo/agua-no-mundo>>. 2018. Acesso em: 14 Dez. 2020.
- AHMAD, M.; RAJAPAKSHA, A. U.; LIM, J. E.; ZHANG, M.; BOLAN, N.; MOHAN, D.; VITHANAGE, M.; LEE, S. S.; OK, Y. S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. **Chemosphere**, v. 99, p. 19-33, 2014.
- AHMED, M. B.; ZHOU, J. L.; NGO, H. H.; GUO, W.; CHEN, M. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater. **Bioresource Technology**, v. 214, p. 836-851.
- ALBUQUERQUE, C. G. **Avaliação da capacidade de retenção da espuma de poliuretano e da fibra da Paina (Chorisia speciosa) aplicado na limpeza de derramamento de óleo diesel**. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL, 2017.
- ALLEN, L.; CHRISTIAN-SMITH, J.; PALANIAPPAN, M. Overview of greywater reuse: The potential of greywater systems to aid sustainable water management. Informally published

manuscript, Pacific Institute, Oakland, California. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 3, p. 356-363, 2010.

- ALMEIDA, R. G. Aspectos legais para a água de reúso. **Vértices**, v. 13, n. 2, p. 31-43, 2011.
- AL-GHEETHI, A. A.; RADIN MOHAMED, R. M. S.; EFAQ, A. N.; AMIR HASHIM, M. K. Reduction of microbial risk associated with greywater by disinfection processes for irrigation. **Journal of water and health**, v. 14, n. 3, p. 379-398, 2016.
- AMARAL, S. M. B.; BESSA, M. J.; CAVALCANTE, M. R. F.; FREITAS, F. N. F.; MAIA, M. B. V.; COSTA JÚNIOR, R. A.; DAMACENO, M. N. Orange residues in the preparation of food products: A review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p.1-15, 2021.
- ANA; FIESP; SINDUSCON/SP; COMASP. **Manual Conservação e Reúso de Água em Edificações**. São Paulo. 153 p, 2005. Disponível em:<<https://smastr16.blob.core.windows.net/municípioverdeazul/2011/11/ManualConservacaoReusoAguaEdificacoes.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2021.
- ANDERSON, J. Municipal water reuse. In: JIMENEZ, B. (Ed); ASANO, T(Ed). **Water Reuse: an international survey of current practice, issues and needs**. London: 2008
- ANDRADE, M. C. **Geografia, ciência da sociedade: uma introdução à análise do pensamento geográfico**. São Paulo: Atlas, 1987.
- ANTUNES, L; THIVES, L; GHISI, E. Potential for Potable Water Savings in Buildings by Using Stormwater Harvested from Porous Pavements. **Water**, v. 8, n. 4, p.110-137, 2016.
- APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington-APHA/AWWA/WEF, 2017.
- Aprovado projeto de Laércio que institui o reaproveitamento da água. 2019. Disponível em:<<http://www.laerciooliveira.com.br/aprovado-projeto-de-laercio-que-institui-o-reaproveitamento-da-agua-2/>>. Acesso em: 20 out. 2020.
- ASANO, T. **Wastewater Reclamation and Reuse**. v.10. Boca Raton, FL: Water Quality Management Library, CRC. Press, 1998.
- BARATA, M. M. D. L.; KLIGERMAN, D. C.; MINAYO-GOMEZ, C. A gestão ambiental no setor público: uma questão de relevância social e econômica. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 165-170, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232007000100019>
- BARBOSA, L.; ALVES, L.; VAZQUEZ, E. Estimativa de retorno de investimento de um sistema de reúso de água cinza em um projeto residencial. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS**, v.1, 2019. <https://doi.org/10.46421/sispred.v1i.1602>
- BARIŞCI, S.; TURKAY, O.; DIMOGLO, A. Review on Greywater Treatment and Dye Removal from Aqueous Solution by Ferrate. In: **Ferrites and Ferrates: Chemistry and Applications in Sustainable Energy and Environmental Remediation**, v. 1238, p. 349-409, 2016. <https://doi.org/10.1021/bk-2016-1238>

- BELISÁRIO, G. Z. **Relações entre a qualidade da água de reúso produzida a partir de águas cinzas e a sua percepção por parte dos usuários**. 2018. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2018.
- BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology**, v. 67, n. 7, p. 1403-1424, 2013.
- BRASIL. Resolução CONAMA Nº 307 de 5 de Julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, DF, nº 136, p. 95-96, 2002.
- BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357, **dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 mar. 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005. **Estabelece critérios gerais para reúso de água potável**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 mar. 2006.
- BRASIL. **Lei Nº 12.305 de 2/08/2010 que institui a Política Nacional de resíduos Sólidos**. Brasília/ DF, 2010.
- BRASIL. Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 430. **Complementa e altera a Resolução nº 357/2005, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 mai. 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: Funasa, 2014. 112 p.
- BRASIL AGRO. **Laranja: safra mundial cresce, oferta de suco avança mais do que a demanda**. 2019. Disponível em: <https://www.brasilagro.com.br/conteudo/laranja-safra-mundial-cresceoferta-de-suco-avanca-mais-do-que-a-demanda.htm>. Acesso em: 03 dez. 2020.
- BURT, C.M.; STYLES, S.W. Filtration (solids removal). In: Burt, C.M., Styles, S.W. (Eds.), **Drip and Microirrigation Design and Management for Tress, Vines and Field Crops Practice Plus Theory**. ITRC, BRAE and CalPoly, San Luis Obispo, California, p. 175–222, 2007.
- BURZSTYN, M. A. A.; BURSZTYN, M. Desenvolvimento sustentável: biografia de um conceito. In: NASCIMENTO, E.; VIANNA, J. N. **Economia, meio ambiente e comunicação**. Rio de Janeiro: Garamond, p. 54-67, 2006.
- CAMPOS, L. E. F.; PETTER, C. O.; KAUTZMANN, R. M. Filtro anaeróbio: uso de resíduos de construção como material suporte. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 1, p. 5-13, 2008.
- CARVALHO, R. S.; FILHO, J. S. S.; SANTANA, L. O. G.; GOMES, D. A.; MENDONÇA, L. C.; FACCIOLI, G. G. Influência do reúso de águas residuárias na qualidade

microbiológica do girassol destinado à alimentação animal. **Ambi-Água**, v. 8, n. 2, p. 157-167, 2013. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1116>.

CARVALHO, R. S. **Produção e caracterização de biocarvão de bagaço de laranja para utilização no pós-tratamento de água residuária**. 2018. 149 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2018.

CHEN, Zhuo; NGO, Huu Hao; GUO, Wenshan. A critical review on sustainability assessment of recycled water schemes. **Science of the Total Environment**, v. 426, p. 13-31, 2013.

CHEN, W., BAI, Y., ZHANG, W., LYU, S., & JIAO, W. Perceptions of different stakeholders on reclaimed water reuse: the case of Beijing, China. **Sustainability**, v. 7, n. 7, p. 9696-9710, 2015.

CHIA, C.H.; DOWNIE, A.; MUNROE, P. Characteristics of biochar: Physical and structural properties. In **Biochar for Environmental Management: Science, Technology, and Implementation**; Lehmann, J., Joseph, S., Eds.; Routledge: New York, NY, USA, 2015; pp. 89–110.

CHRISPIM, M. C.; NOLASCO, M. A. Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 290-296, 2017.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Orientação para apresentação de projeto visando a aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. **Aplicação de água de reúso de ETE na agricultura**. 11 p, 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/wp-content/uploads/sites/18/2020/12/reúso_ete_agricultura.zip>. Acesso em: 10 dez. 2021.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA (CNJ). Resolução Nº 296 de 2019, **Cria e revoga Comissões Permanentes no âmbito do Conselho Nacional de Justiça**. Disponível em: <<https://atos.cnj.jus.br/atos/detalhar/3038>>. Acesso em: 09 fev. 2022.

COUTO, E. D. A., CALIJURI, M. L., ASSEMAN, P. P., DA FONSECA SANTIAGO, A., & LOPES, L. S. Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low-cost alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 372-379, 2015.

CRAIG, M.; RICHMAN, R. Towards development of a standard methodology for testing field performance of residential greywater reuse systems: case study of a greywater reuse system installed in 22 homes in Southern Ontario (Canada). **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 8, n. 2, p. 135-152, 2018.

- DALTO, P. H.; GONÇALVES, F. O.; SILVA, E. G.; SENA, A. F. S.; BARREIRA, H. M.; SANTOS, M. R. Uso de biocarvão como condicionador de solo e sua influência na produtividade do milho e feijão. **Brazilian Journal Of Animal And Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 3937-3943, 2020.
- DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. **Microscopia eletrônica de varredura: Aplicações e preparação de amostras**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.
- DIAS, L. I. R.; RAMOS, E. C.; FLORENCIO, O. Aproveitamento de resíduos da construção e demolição (rcd) na fabricação de blocos de concreto sem e com adição de óxido de grafeno. **Brazilian Journal Of Development**, v. 7, n. 1, p. 5972-5989, 2021.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed. São Paulo: RIMA, 2005.
- DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. Socio-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 53-62, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.07.001>
- EMPRESA DE DESENVOLVIMENTO AGROPECUÁRIO DE SERGIPE (EMDAGRO). **Cultura da Laranja: Informações estatísticas 2010-2019**. 2020. Disponível em: < <https://www.emdagro.se.gov.br/wp-content/uploads/2021/05/Cultura-da-Laranja-Infoma%C3%A7%C3%B5es-Estat%C3%ADsticas-2010-a-20191.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2021.
- FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 1, p. 19-30, 2006.
- FREITAS, L. **Reaproveitamento de resíduos sólidos da construção civil no Brasil**. 2018. Disponível em: < <https://domtotal.com/noticia/1262733/2018/06/reaproveitamento-de-residuos-solidos-da-construcao-civil-no-brasil/>>. Acesso em: 04 set. 2021.
- GARCIA-CUERVA, L.; BERGLUND, E. Z.; BINDER, A. R. Public perceptions of water shortages, conservation behaviors, and support for water reuse in the US. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 113, p. 106-115, 2016.
- GASSIE, L. W.; ENGLEHARDT, J. D. Advanced oxidation and disinfection processes for onsite net-zero greywater reuse: A review. **Water research**, v. 125, p. 384-399, 2017.
- GOMES, M.; FERREIRA, L. J. Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Direito e Desenvolvimento**, v. 9, n.2, p.155-178, 2018. <https://doi.org/10.25246/direitoedesarrollo.v9i2.667>

- GONÇALVES, R. F. **Uso Racional da Água em Edificações**. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. ABES, p. 1-28, 2006. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Uso%20%C3%81gua%20-%20final.pdf>. Acesso em: 20 set. 2019.
- GREY, S. R.; BECKER, N. S. C. Contaminant flows in urban residential water system. **Urban Water**, v. 4, n. 4, p. 331-346, 2002.
- GREYWATER. **Greywater pollution: short description of how pollution is measured**. Disponível em: <http://greywater.com/pollution.htm>. Acesso em: 19 set. 2020.
- GUILHEN, S. N. **Síntese e caracterização de biocarvão obtido a partir do resíduo de coco de macaúba para remoção de urânio de soluções aquosas**. 2018. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Materiais), Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2018.
- GUPTA, S.; KUA, H. W. Effect of water entrainment by pre-soaked biochar particles on strength and permeability of cement mortar. **Construction Building Materials**, v. 159, p. 107-125, 2020.
- GWENZI, W.; CHAUKURA, N.; NOUBACTEP, C.; MUKOME, F. N. D. Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. **Journal of Environmental Management**, v.197, p. 732-749, 2017.
- HESPANHOL, I. Reúso potável direto e o desafio dos poluentes emergentes. **Revista USP**, n. 106, p. 79-94, 2015. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p79-94>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola: Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil**. Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 1-81. 2017.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agro-silvopastoril e agroindústrias associadas relatório de pesquisa**. Brasília, 2012. 134 p. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatoriorei_duos_organicos.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2016.
- INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (IBI). **Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil**. Disponível em: http://www.biocharinternational.org/sites/default/files/IBI_Biochar_Standards_V1.1.pdf. Acesso em: 12 dez. 2020.

- ISMAIL, A. F.; KHULBE, K. C.; MATSUURA, T. RO: Membrane characterization. In: **Reverse Osmosis**. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, p. 57-90, 2019.
- ISOLANI, D. **Filtração de águas de abastecimento com esponjas de poliuretano**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2000.
- IUPAC. **Analytical Chemistry Division Commission on Analytical Nomenclature**. Pure Appl. Chem.; 1993. Disponível em: <http://old.iupac.org/publications/analytical_compendium/>. Acesso em: 15 out. 2020.
- JANNUZZI, P. M.; CARLO, S. Da agenda de desenvolvimento do milênio ao desenvolvimento sustentável: oportunidades e desafios para planejamento e políticas públicas no século XXI. **Bahia Análise & Dados**, v. 28, n. 2, p. 6-27, 2019. Disponível em: <<https://publicacoes.sei.ba.gov.br/index.php/bahiaanaliseedados/article/view/143>>. Acesso em: 05 Mar. 2021
- JESUS, J. H. F. **Uso de biocarvões e suas biomassas precursoras para remediação de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos em água**. 2016. 82 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2016.
- KALINKE. C. **Avaliação da potencialidade eletroanalítica de biochar, obtido em diferentes temperaturas, em eletrodos modificados para determinação de espécies de interesse**. 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba/PR, 2015.
- KAMALI, M.; APPELS, L.; KWON, E. E; AMINABHAVI, T. M.; DEWIL, R. Biochar in water and wastewater treatment: a sustainability assessment. **Chemical Engineering Journal**, v. 420, p. 1-21, 2021.
- KIPERSTOK, A. **Prevenção da poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002. 290p.
- KUMPANENKO, I. V.; ROSCHIN, A. V.; IVANOVA, N. A.; PANIN, E. O.; SAKHAROVA, N. A. Application of Sorbents to the Collection of Crude Oil and Refined Product Spills. **Russian Journal of Physical Chemistry B**, v. 9, n. 2, p. 295–299, 2015. <http://doi.org/10.1134/S1990793115020232>
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- LANARI, P.; VHO, A.; BOVAY, T.; AIRAGHI, L.; CENTRELLA, S. Quantitative compositional mapping of mineral phases by electron probe microanalyser. **Geological Society**, v. 478, p. 39-63, 2018. <https://doi.org/10.1144/SP478.4>

- LASSO, P. R. O.; VAZ, C. M. P.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, C. R.; BACCHI, O. O. S. Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1659-1668, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600022>.
- LEAL, L. H.; ZEEMAN, G.; TEMMINK, H.; BUISMAN, C. Characterization and biological treatment of greywater. **Water Science and Technology**, Leeuwarden, Netherlands, v. 56, n. 5, p. 193-200, 2007.
- LEAL, B. L. **Viabilidade de reúso de águas cinza, estudo de caso em condomínio vertical em Cuiabá-MT**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2013.
- LEHMANN, J.; STEPHEN, J. Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), **Biochar for Environmental Management Science and Technology**. Earthscans/UK, p. 1–12, 2009.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.
- LIMA, A. J. **Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais**. 2020. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2020.
- LUNARDI, J.; RABAIOLLI, J. A. Valorização e preservação dos recursos hídricos na busca pelo desenvolvimento rural sustentável. **OKARA: Geografia em debate**, v. 7, n. 1, p. 44-62, 2013.
- MAGALHÃES, P. C. O custo da água gratuita. In: **Ciência Hoje**, v. 36, n. 211, p. 45-49, 2004.
- MAIMON, A.; GROSS, A. Greywater: Limitations and perspective. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2017.11.005>
- MARCH, J. G.; GUAL, M. Breakpoint chlorination curves of greywater. **Water Environment Research**, v. 79, n. 8, p. 828-832, 2007.
- MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis SC. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 67-84, 2008.

- MELO, M. M. O. C.; CORDEIRO, L. F. A.; SALES, A. T. Potenciais ganhos da implementação de jardins filtrantes para o reuso de águas cinzas em prédios públicos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 4, p. 796-807, 2021. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.004.0060>
- MENDONÇA, K. P. L. **Tratamento de águas cinza provenientes de lavanderias visando reúso**. 2019. 101f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Tocantins, Palmas/TO, 2019.
- MESQUITA, M. **Avaliação dos componentes hidráulicos e do material filtrante em filtros de areia utilizados na irrigação**. 2010. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 2010.
- NAÇÕES UNIDAS. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: 17 Objetivos para Tranformar Nosso Mundo: 17 Objetivos para Tranformar Nosso Mundo**. 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- NETO, P. G. S.; AMORIM, E. F.; INGUNZA, M. D. P. D. Análises de dosagens de concreto asfáltico do tipo Pré Misturado a Frio (PMF) utilizando Resíduos da Construção e Demolição de obras (RCD). **Matéria**, v. 24, n. 4, p. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620190004.0854>
- NOUSOPOULOS, C.; ANDREADAKIS N. K.; CHARCHOUSI D.; MENDRINO P.; GALANI A.; MANTZIARAS I.; KOUMAKI E. Greywater characterization and loadings– Physicochemical treatment to promote onsite reuse. **Journal of environmental management**, v. 216, p. 337-346, 2018.
- OH, K. S.; LEONG, J. Y. C.; POH, P. E.; CHONG, M. N.; LAU, E V. A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 17-29, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.267>
- OLIVEIRA, L. O. V. **Características sensoriais e o risco microbiológico em águas cinza tratadas para reúso predial**. 2015. 174 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES, 2015.
- OLIVEIRA, L. R.; COSTA, L. S.; CASTRO, R. M.; CASTRO, M. N.; ALMEIDA, L. F. O.; CARVALHO, E. W. V. Avaliação de um equipamento protótipo para tratamento de águas cinzas com fins não potáveis. **Revista Internacional de Ciências**, v. 8, n. 2, p. 149-167, 2019.
- OLIVEIRA, D. P. F., ANDRADE, T. C. O., BROETTO, F. Água Residuária: Usos e Legislação. In: Zabotto, A. R. **Estudos Sobre Impactos Ambientais: Uma Abordagem Contemporânea**. Botucatu: FEPAF, p. 11-19, 2019.

OMIDO, Agleison Ramos; BARBOZA, Christian Souza; ZIMMER, Arthur Silva; ADURES, Luiz Antônio Kerber; SILVA, Luiz Henrique dos Santos. **Estudos para aproveitamento de resíduos de construção civil na execução de camadas de pavimentação**. Anais do Congresso Sul Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, Gramado, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/agua/.2017>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Disponível em: <<https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld> >. Acesso em: 28 out. 2020.

ORON, G.; ADEL, M.; AGMON, V.; FRIEDLER, E.; HALPERIN, R.; LESHEM, E.; WEINBERG, D. Greywater use in Israel and worldwide: standards and prospects. **Water Research**, v. 58, p. 92-101, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.032>.

OROZCO, M. M. D. **Filtração**. Rondônia, 2012. 44 slides, color. Acesso em: 26 jan. 2017.

PARANYCHIANAKIS, N. V.; SALGOT, M.; SNYDER, S. A.; ANGELAKIS, A. N. Water Reuse in EU States: Necessity for Uniform Criteria to Mitigate Human and Environmental Risks. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 45, n. 13, p. 1409 – 1468, 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/10643389.2014.955629>

PASSOS, E. S.; BRANDÃO, L. F. S.; CARVALHO, R. S. Tratamento de águas cinzas por meio de filtro com leito associado de resíduos da construção civil, esponjas utilizadas e antracito. **Tecnologia e Ambiente**, v. 27, p. 34-49, 2021a. <http://dx.doi.org/10.18616/ta.v27i0.6489>

PASSOS, E. S.; BRANDÃO, L. F. S.; CARVALHO, R. S. Caracterização microbiológica de águas cinzas: eficiência de filtro com materiais não convencionais. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 935-946, 2021b. [http://dx.doi.org/10.21438/rbgas\(2021\)081920](http://dx.doi.org/10.21438/rbgas(2021)081920)

PAULA, H. M.; FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 951-961, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018169155>

PEPRAH, M. O.; ACHEAMPONG, M. A.; VRIES, N. K. **Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception - a Review**. US National

Library of Medicine – National Institute of Health, 2018. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-018-3909-8>>. Acesso em: 08 out. 2019.

PESSÔA, T.S. **Caracterização e aplicação de biocarvão obtido a partir do endocarpo do açaí para adsorção de corantes têxteis**. 2019. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE, 2019.

PINTO, J.; ATHANASSIOU, A.; FRAGOULI, D. Effect of the porous structure of polymer foams on the remediation of oil spills. **Journal of Physics D: Applied Physics**, v. 49, n. 14, 2016. <http://doi.org/10.1088/0022-3727/49/14/145601>

PIZZOLATTI, B. **Estudos de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2010.

PROETTI, S. As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: um estudo comparativo e objetivo. **Revista Lumen**, v. 2, n. 4, p. 1-23, 2018. <http://doi.org/10.32459/revistalumen.v2i4.60>

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD) & INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Plataforma Agenda 2030**. 2019. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/sobre/>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

POLETO, C.; BRESSIANI, L. **Resíduos Sólidos**. Uberada: Editora da Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2013, v. 3.

POZZEBON, P. H. B. **Viabilidade Técnica, Econômica e Social do Aproveitamento das Águas de Chuva e Cinzas Para Consumo Não Potável na Cidade de Santa Maria/RS**. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2013.

RIBEIRO, D.V.; MORELLI, M. R. **Resíduos Sólidos Problema ou Oportunidade?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

SACHS, I. **Desenvolvimento: incluyente, sustentável, sustentado**. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M.; RAMOS, L. T. A.; PEREIRA, C. B.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C. Capacidade de Reúso de Efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. **Semiões**, v. 12, n. 3, p. 16-33, 2018.

SANTOS, L. A.; SANTOS, A. F. F. M. S.; VALENÇA, R. B.; JUCÁ, J. F. T.; OLIVEIRA, C. R. M. Produção de biogás a partir de bagaço de laranja. **Revista Geama**, v. 4, n. 3, p. 22–27, 2018.

SÃO PAULO. **Resolução conjunta da Secretaria de Estado da Saúde, do Meio Ambiente e de Saneamento e Recursos Hídricos nº 01**. Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas. Diário Oficial da União, São Paulo, SP, 28 jun. 2017.

SEMA realiza visita em usina de reciclagem da construção civil. **Prefeitura Municipal de Aracaju**, 24 de jul. 2017. Disponível em: https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/72660/sema_realiza_visita_em_usina_de_reciclagem_da_construcao_civil.html. Acesso em: 29 nov. 2021.

SERGIPE. **A Lei nº 5.857 de 22/03/2006, dispõe sobre a Política Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Aracaju/SE, 2006.

SE TV. **Sergipe ganha unidade de reciclagem para receber os resíduos de construção civil**. Rede Globo, SE TV, 23 abr. 2013. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/2533766/>. Acesso em: 29 nov. 2021.

SILVA, C. H. R. T. **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisa, 2012.

SILVA, A. L.; LUNA, C. B. B.; BEZERRA, E. O. T.; SANTOS, P. S.; CHAVES, A. C.; NEVES, G. A. Reaproveitamento dos resíduos da construção civil na obtenção de membranas cerâmicas para tratamento de efluentes. In: Editora Poisson (org.). **Engenharia no século XXI**. Belo Horizonte: Poisson, v. 5, 2019. <https://doi.org/10.5935/978-85-7042-121-0>

SIZIRICI, B.; YILDIZ, I.; ALALI, A.; ALKHEMEIRI, A.; ALKHOORI, A.; BUFALASA, F.; ALAWADI, R. Modified biosand filters enriched with iron oxide coated gravel to remove chemical, organic and bacteriological contaminants. **Journal of Water Process Engineering**, v. 27, p. 110–119, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.015>

SNATURAL. **Uso de bio-filtros na criação de peixe (tilápia) em tanques**. São Paulo. 2011. Disponível em: < <https://www.snatural.com.br/tratamento-agua-producao-peixes-plantas-aquaticas/>>. Acesso: 10 out. 2021.

SOUSA, H. M. **Caracterização e efeitos de biocarvões para uso agrônômico em solo arenoso**. 2018. 148 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá/MT, 2018.

SPERATTI, A.B.; JOHNSON, M.S. SOUSA, H.M. TORRES, G.N; COUTO, E.G. Impact of Different Agricultural Waste Biochars on Maize Biomass and Soil Water Content in a Brazilian Cerrado Arenosol. **Agronomy**, v. 7, p. 1-19, 2017.

SUGIMOTO, L. **Resíduos da laranja rendem extrato para proteção cardiovascular**. Disponível em: <https://noticias.r7.com/saude/residuos-da-laranja-rendem-extrato-para-protecao-cardiovascular-23112018>. Acesso em 22 jun. 2020.

TAVARES, B. R. S. D. **Grau de aceitabilidade do reúso de água de lagoas de estabilização na agricultura irrigada**. 94 p. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento e meio ambiente), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2016.

TCHOBANOGLIOUS, G.; LEVERENZ, H.; NELLOR, M. H.; CROOK, J. **Direct potable reuse: A Path Forward**. WateReuse Research Foundation and WateReuse California, 2011.

TEIXEIRA, A. H. C. E.; SILVA, A. L.; ASSIS, B. V.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, J. C.; NOGUEIRA, P. S.; JACOB, R. S. Análise da viabilidade da instalação de um sistema de reúso de água cinza na pontifícia universidade católica de Minas Gerais unidade Barreiro. **Brazilian Journal Of Development**, v. 5, n. 8, p. 13005-13012, 2019. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv5n8-119>.

TELLES, D. D.; COSTA, P. R. **Reuso da Água – Conceitos, teorias e práticas**. 2 ed. São Paulo: Blucher. 408 p, 2010.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 3, p. 604-613, 2008.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **Water for Texas: Water Reuse**. Texas, 2013. Disponível em: < <http://www.twdb.texas.gov/publications/index.asp>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

THOMMES, M.; KANEKO, K.; NEIMARK, A. V.; OLIVIER, J. P.; RODRIGUEZREINOSO, F.; ROUQUEROL, J.; SING, K. S. W. Physisortion of gases, with special reference to the evaluation of surface área and poro size distribution (IUPAC Technical Report). **Pure Applied Chemistry**, v. 87, p. 1051-1069, 2015.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE SERGIPE (TJSE). **Plano de Logistica Sustentável: relatório anual de desempenho**. 2020. Disponível em: https://www.tjse.jus.br/euajudooplaneta/arquivos/documentos/planologisticasustentavel/relatorio_de_desempenho_2020.pdf. Acesso em: 21 nov. 2021.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DE SERGIPE (TJSE). **Eu ajudo o planeta**. 2022. Disponível em: <<https://www.tjse.jus.br/euajudooplaneta/>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (US EPA). **Guidelines for water reuse**. Washington: Office of Water, 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108appc.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2020.

VENSKE, F. **Alagados construídos para tratamento de águas cinzas com meio suporte de resíduos de construção e demolição**. 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa/PR, 2017.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

ZHANG, J.; LÜ, F.; ZHANG, H.; SHAO, L.; CHEN, D.; HE, P. Multiscale visualization of the structural and characteristic changes of sewage sludge biochar oriented towards potential agronomic and environmental implication. **Scientific Reports**, v. 5, p. 9406, 2015.

ZHU, J.; WAGNER, M.; CORNEL, P.; CHEN, H.; DAI, X. Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China. **Journal of Water Reuse and Desalination**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2018.

APÊNDICE A – SOLICITAÇÃO DE INFORMAÇÕES



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE



São Cristóvão/SE, 14 de janeiro de 2022.

Excelentíssimo Sr.

José Anselmo Vieira Silva

Tribunal de Justiça do Estado de Sergipe

Departamento de obras

Aracaju-Sergipe

Na qualidade de orientador da Dissertação de Mestrado de **ERIK SANTOS PASSOS**, do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), da Universidade Federal de Sergipe (UFS), intitulada “Reúso de águas cinzas: análise da eficiência de filtro composto por materiais alternativos como alternativa sustentável”, solicito a obsequiosa atenção de Vossa Senhoria no sentido de fornecer dados e informações que subsidiarão a realização da pesquisa.

De modo geral, a pesquisa busca dimensionar um tratamento que possa ser aplicado em alguma unidade do TJSE, levando em consideração que o órgão atende a indicadores socioambientais e possui plano de logística sustentável, previsto no art. 23 da Resolução CNJ/2015. Neste sentido, solicitam-se dados como: quantitativo de funcionários e plantas baixas da unidade de fórum da comarca de Indiaroba/SE, unidade escolhida por já possuir aproveitamento de águas pluviais, para estimar, então, a produção de águas cinzas e dimensionar um sistema de reúso.

Contando com o apoio dessa Instituição, agradeço antecipadamente sua disponibilidade e atenção.

Atenciosamente,

Prof. Dr. **GREGÓRIO GUIRADO FACCIOLI**

Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Pesquisador-Orientador

