



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**FERNANDO RODRIGUES DA ROCHA JÚNIOR**

**SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREAS RURAIS  
PARA ABASTECIMENTO HUMANO COM FILTRAÇÃO LENTA NÃO  
CONVENCIONAL**

**SÃO CRISTÓVÃO  
2024**

**FERNANDO RODRIGUES DA ROCHA JÚNIOR**

**SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM ÁREAS RURAIS  
PARA ABASTECIMENTO HUMANO COM FILTRAÇÃO LENTA NÃO  
CONVENCIONAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Denise Conceição de Gois Santos Michelan

### Ficha catalográfica

É concedida à Universidade Federal de Sergipe permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho acadêmico pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Fernando Rodrigues da Rocha Júnior

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

R672s Rocha Júnior, Fernando Rodrigues da  
Sistema de tratamento de água subterrânea em áreas rurais  
para abastecimento humano com filtração lenta não convencional  
/ Fernando Rodrigues da Rocha Júnior ; orientadora Denise  
Conceição de Gois Santos Michelan. - São Cristóvão, 2024.  
120 f. : il.

Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade  
Federal de Sergipe, 2024.

1. Abastecimento de água. 2. Água potável. 3. Molusco. 4.  
Documentos oficiais. I. Michelan, Denise Conceição de Gois  
Santos Orient. II. Título.

CDU 628.16

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE  
MESTRADO**

**FERNANDO RODRIGUES DA ROCHA JÚNIOR**

APRESENTADO AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE EM 28 DE FEVEREIRO DE 2024

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Denise Conceição de Gois Santos Michelan  
Orientadora  
Departamento de Engenharia Civil  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

---

Prof<sup>o</sup> Dr. Bruno Segalla Pizzolatti  
1<sup>a</sup> Examinador  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

---

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daniella Rocha  
2<sup>o</sup> Examinadora  
Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

---

Prof<sup>o</sup> Dr. Daniel Moureira Fontes Lima  
3<sup>o</sup> Examinador  
Departamento de Engenharia Civil  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

## AGRADECIMENTOS

Aos citados no presente texto, fiquem cientes de que seria impossível demonstrar o quão grato sou em tão pequeno espaço.

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Denise Michelan, por cumprir com totalidade a função de orientadora, não apenas sendo fonte de saber científico, mas também pessoal, guiando-me na busca por me tornar um pesquisador humano.

A todo o corpo docente e administrativo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROEC), por sempre terem me tratado de forma cordial e, com paciência, sanando as dúvidas de um aluno que, apesar de sempre ter desejado, chegou ao programa sem nunca ter tido a oportunidade de desenvolver projetos de pesquisa. Em especial a Técnica Tamires Rosa, por me acompanhar de maneira direta nas práticas laboratoriais e conversas sobre quaisquer temáticas, fazendo com que infinitas análises fossem realizadas sem que eu notasse.

Ao Departamento de Engenharia Civil (DEC), Departamento de Engenharia Química (DEQ) e laboratórios que tive o prazer de frequentar para o desenvolvimento da pesquisa: Condomínio de Laboratórios Multiusuário do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais (CLMDCEM), Laboratório de Geotecnia e Pavimentação (GEOPAV), Laboratório de Hidráulica (LABHID), Laboratório de Modelagem Matemática em Engenharia Civil (LAMEC), Núcleo Regional de Competência em Petróleo, Gás e Biocombustíveis de Sergipe (NUPEG) e Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente. Além do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais (PPGECIA), por disciplina cursada. A banca avaliadora (Dr. Bruno Segalla, Dr.<sup>a</sup> Daniella Rocha e Dr. Daniel Moureira) pelas contribuições no estudo.

Aos amigos de “águas” (Beatriz Sandes, Michelle Menezes, Ronaldo Guilherme e Vitor Pedral), por acompanhar-me em todos os inúmeros trabalhos, aulas e artigos. As madrugadas perdidas se tornaram leves pelas respectivas presenças. Em especial ao “José Breno”, que caminhou comigo desde o primeiro dia de aula, não somente em temas que envolviam o mestrado. Serei eternamente grato ao Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos por vocês.

Minha família de estruturas, a qual devo meu segundo ano no programa e minha versão emotiva. Eliakim Alcântara, Jéssica Simão, Ludmila Santos e Rainara Souza, obrigado por me acolherem, mais do que no espaço físico, em suas vidas. Peço licença à academia e ao PROEC para transcrever a frase que falei para vocês: mais importante que o título de mestre foi tê-los conhecido, o trocaria sem pensar duas vezes. Vocês não ficarão livres do mascote que vos escreve.

Minha família, base para que eu ingressasse e permanecesse no programa. Irmãs, Aline Rocha, Fernanda Rocha, Sheila Rocha e Karolinne Rocha, o caçula conseguiu, agora exijo que me chamem de Mestre Nando. Meus pais, Valdelice dos Santos e Fernando Rocha, obrigado por sempre incentivarem meus projetos, apoiando mesmo quando parecerem utópicos demais para o mundo.

Por fim, mas não menos importante, aos seres de luz que me acompanham. “Seja um jovem do futuro, continue estudando e ajude o mundo com o seu conhecimento”, essa frase por um de vocês me dita, segue me direcionando diariamente e me erguendo em todas as quedas que a vida de pesquisador me traz.

*“Temos muito ainda por fazer... Apenas começamos!”*

## RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água dependem de infraestruturas tanto para a distribuição, quanto para o tratamento da água bruta. Enquanto nas áreas urbanas têm-se significativas demandas por água para o abastecimento humano, ao passo que nas áreas rurais têm-se demandas por redes de distribuição de forma isolada, devido ao maior espaçamento entre as economias domésticas. Como reflexo, a população rural possui menor cobertura na distribuição de água do que a população urbana, fazendo com que fique exposta a riscos relacionados ao consumo de água sem qualidade ideal. Destarte, a utilização de técnica de tratamento de água individual, como a filtração lenta, serve como alternativa que possibilita o consumo de água de qualidade sem necessidade de construção de longas redes de distribuição. A diminuição da qualidade das águas brutas disponíveis impulsiona pesquisas por meios filtrantes com eficiências na remoção de determinados poluentes. Com isso, o presente estudo analisou a utilização de conchas de sururu (*Mytella guyanensis*), resíduo da comercialização do molusco, como meio filtrante não convencional em três dos quatro filtros pilotos usados no tratamento de água subterrânea. Em um dos dispositivos foi utilizado apenas areia (filtro convencional), com intuito de comparar a qualidade da água filtrada com e sem o uso das conchas. As conchas foram submetidas a tratamentos de higienização diferentes, por banho ultrassônico (BU) e banho de sol (BS), e dispostas de forma confinada junto à areia, também utilizado como meio filtrante convencional nos filtros. Foram realizados ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Análise de Área Superficial (BET) e Difractometria de Raios X (DRX) para caracterização das conchas. Para verificação da eficiência dos tratamentos, os resultados foram comparados aos padrões de potabilidade de água, por meio da Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde com base nos parâmetros: cor aparente, turbidez, pH, dureza, alumínio, ferro total, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Os resultados evidenciaram que as conchas possuem morfologia heterogênea, com presença de poros, sendo classificadas como material mesoporoso. Os difratogramas identificaram fases de calcita e ferrita nas conchas. Tais resultados justificaram o aumento do parâmetro dureza nos filtros com utilização de conchas. Apesar de reduzirem os parâmetros de cor e turbidez, os resultados ainda estiveram acima do valor máximo permitido (VMP), com eficiências máximas de aproximadamente 45%. Os pH das amostras filtradas foram mais significativos quando comparados com os da água bruta, mas sem evidência estatística de influência do uso das conchas. A remoção de ferro total e alumínio chegaram a aproximadamente 89%, com filtros recheados de conchas, sendo mais eficientes na remoção de alumínio que o filtro convencional. A remoção de coliformes totais foi superior a 90% e de coliformes termotolerantes alcançou 100%, mas sem evidência estatística de influência no uso de conchas ou tratamento do material. Portanto, embora tenha sido possível avaliar a conformidade da água filtrada com a portaria de potabilidade, há necessidade de continuidade dos estudos com uso do material em maiores proporções e com altura de meio filtrante maior, para melhor análise da influência e aplicabilidade das conchas de sururu.

**Palavras-chave:** acesso à água; potabilidade; sururu; Portaria nº888/2021.

## ABSTRACT

Water supply systems depend on infrastructures both for distribution and for the treatment of raw water. While urban areas have significant demands for water for human consumption, rural areas tend to have demands for isolated distribution networks, due to the greater spacing between households. As a result, rural populations have lower coverage in water distribution compared to urban populations, exposing them to risks related to consuming water of suboptimal quality. Therefore, the use of individual water treatment techniques, such as slow filtration, serves as an alternative that enables the consumption of high-quality water without the need for the construction of long distribution networks. The decline in the quality of available raw water drives research into filtering materials that efficiently remove specific pollutants. In this context, the present study analyzed the use of sururu shells (*Mytella guyanensis*), a byproduct from the mollusk trade, as an unconventional filtering medium in three of four pilot filters used for the treatment of groundwater. One of the devices used only sand (conventional filter) to compare the quality of filtered water with and without the use of shells. The shells were subjected to different cleaning treatments, through ultrasonic bath (UB) and sun exposure (SE), and confined with the sand, which was also used as a conventional filtering medium in the filters. Scanning Electron Microscopy (SEM), Surface Area Analysis (BET), and X-ray Diffraction (XRD) tests were conducted to characterize the shells. To evaluate the efficiency of the treatments, the results were compared to the drinking water standards established by Ministry of Health Ordinance No. 888/2021, based on the following parameters: apparent color, turbidity, pH, hardness, aluminum, total iron, total coliforms, and thermotolerant coliforms. The results showed that the shells have a heterogeneous morphology with the presence of pores, classifying them as mesoporous material. The diffractograms identified calcite and ferrite phases in the shells. These findings explain the increase in hardness in filters with shell usage. Despite reducing color and turbidity parameters, the results still exceeded the maximum permissible values (MPV), with maximum efficiencies of approximately 45%. The pH of the filtered samples was more significant when compared to raw water, but without statistical evidence of the shells' influence. The removal of total iron and aluminum reached approximately 89%, with the shell-filled filters being more efficient in removing aluminum than the conventional filter. The removal of total coliforms was above 90%, and thermotolerant coliform removal reached 100%, although there was no statistical evidence of the influence of the shell usage or the material treatment. Therefore, although it was possible to assess the compliance of the filtered water with the drinking water ordinance, further studies are necessary with the use of the material in larger proportions and with a higher filtering medium height for a better analysis of the influence and applicability of sururu shells

**Keywords:** access to water; potability; sururu; Ordinance n° 888/2021.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Exemplo de sistema de abastecimento de água isolado.....	8
Figura 02: Distribuição de ETAs e unidades de tratamento simplificadas (UTS) nas regiões brasileiras.....	10
Figura 03: Esquema representativo de filtração ascendente.....	16
Figura 04: Esquema representativo de filtração descendente.....	16
Figura 05: Fotografia de conchas de amêijoas realizada pelo MEV.....	24
Figura 06: Difratoograma identificando possibilidade de reatividade de minerais com cimento após período de cura (7 dias).....	26
Figura 07: Reservatório e sistema de recirculação de água.....	33
Figura 08: Repartidor de areia utilizado e areia pós quartejamento.....	34
Figura 09: Série de peneiras usada disposta no agitador mecânico.....	35
Figura 10: Geolocalização do povoado Ponta dos Mangues.....	36
Figura 11: Conchas submetidas ao BS.....	37
Figura 12: Conchas submetidas ao BU.....	38
Figura 13: Método de determinação de dimensões das conchas.....	39
Figura 14: Amostras de conchas revestidas com prata para realização do MEV.....	40
Figura 15: Aferição de graduação de britas.....	41
Figura 16: Configuração dos filtros.....	42
Figura 17: Conchas submetidas ao BS trituradas.....	43
Figura 18: Sachê de conchas trituradas.....	43
Figura 19: Filtros do sistema piloto recheados com meio filtrante.....	44
Figura 20: Curva granulométrica da areia utilizada no meio filtrante.....	47
Figura 21: Resultados das análises de cor aparente das amostras de água.....	49
Figura 22: Resultados das análises de turbidez das amostras de água.....	50
Figura 23: Resultados das análises de dureza das amostras.....	50
Figura 24: Morfologia das conchas que passaram por tratamento BS.....	53
Figura 25: Morfologia das conchas que passaram por tratamento BU.....	54
Figura 26: Difratoograma de raio-x das conchas que receberam tratamento BS.....	55
Figura 27: Difratoograma de raio-x das conchas que receberam tratamento BU.....	56
Figura 28: Resultados das análises de turbidez dos ensaios com britas.....	58
Figura 29: Resultados das análises de cor dos ensaios com britas.....	58
Figura 30: Resultados das análises de dureza dos ensaios com britas.....	59
Figura 31: Box plot das análises de cor aparente (uH).....	62
Figura 32: Box plot das análises de turbidez (uT).....	63
Figura 33: Box plot das análises de dureza (mg/L).....	65
Figura 34: Box plot das análises de pH.....	66
Figura 35: Box plot das análises de ferro total (mg/L).....	68
Figura 36: Box plot das análises de alumínio (mg/L).....	69
Figura 37: Box plot das análises de coliformes totais (NMP/100mL).....	70
Figura 38: Box plot das análises de coliformes termotolerantes (NMP/100mL).....	71

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 01: Objetivos gerais de estudos sobre a utilização de filtros lentos.....	20
Quadro 02: Produção de aquicultura – ostras, vieiras e mexilhões (T/ano).....	29
Quadro 03: Possíveis riscos gerados a partir do descarte incorreto de conchas de sururu.....	30
Quadro 04: Níveis de segurança permitidos em leis.....	32
Quadro 05: Quadro resumo de análises.....	45
Quadro 06: Valores observados e interpolados a partir da curva granulométrica.....	48
Quadro 07: Massas úmidas e secas das conchas de sururu.....	48
Quadro 08: Resultados das análises de pH dos ensaios com conchas.....	49
Quadro 09: Área superficial de conchas de moluscos.....	51
Quadro 10: Comparação entre diâmetros normatizados e adquiridos.....	57
Quadro 11: Resultados das análises de pH dos ensaios com britas.....	57
Quadro 12: Alturas de meio filtrante de filtros lentos utilizadas em estudos recentes.....	64
Quadro 13: Alturas de meio filtrante de filtros lentos sugeridas.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Composição química por fluorescência de raios-X das adições minerais .....	27
Tabela 02: Resultados médios das análises de água bruta.....	60
Tabela 03: Comparação entre resultados das análises de água bruta e literatura. ....	61
Tabela 04: Resultados estatísticos das análises de cor aparente (uH).....	62
Tabela 05: Resultados estatísticos das análises de turbidez (uT).....	63
Tabela 06: Resultados estatísticos das análises de dureza (mg/L).....	65
Tabela 07: Resultados estatísticos das análises de pH.....	66
Tabela 08: Resultados estatísticos das análises de ferro total (mg/L).....	67
Tabela 09: Resultados estatísticos das análises de alumínio (mg/L).....	69
Tabela 10: Resultados estatísticos das análises de coliformes totais (NMP/100mL).....	70
Tabela 11: Resultados estatísticos das análises de coliformes termotolerantes (NMP/100mL).	71
Tabela 12: Eficiência de remoção de coliformes termotolerantes por filtros (%). ....	72
Tabela 13: Tabela resumo de desempenho dos filtros.....	73
Tabela 14: Quantidade de amostras utilizadas no estudo.....	74

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- BET – Analisador de Área Superficial
- BS – Banho de Sol
- BU – Banho Ultrassônico
- CCL – *Contaminant Candidate List*
- CH – Corpo Hídrico
- CLMDCEM – Condomínio de Laboratórios Multiusuário do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- DEC – Departamento de Engenharia Civil
- DEQ – Departamento de Engenharia Química
- DESO – Companhia de Saneamento de Sergipe
- DNER-ME – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
- DRX – Difractometria de Raios X
- ETA – Estação de Tratamento de Água
- EUA – Estados Unidos da América
- FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
- FiME – Filtração em Múltiplas Etapas
- FLDs – Filtros Lentos Domiciliares
- FM – Filtração em Margem
- FRX – Espectrometria de Fluorescência de Raios X
- GEOPAV – Laboratório de Geotecnia e Pavimentação
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- ITPS – Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe
- IUPAC – *International Union of Pure and Applied Chemistry*
- LABHID – Laboratório de Hidráulica
- MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
- MO – Microscópio Ótico
- NBR – Norma Brasileira
- NMP – Número Mais Provável
- NUPEG – Núcleo Regional de Competência em Petróleo, Gás e Biocombustíveis de Sergipe
- ODS – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PVC – Policloreto de Vinila

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SAMA – Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento

U – Coeficiente de Uniformidade

UFS – Universidade Federal de Sergipe

US EPA – *United States Environmental Protection Agency*

UTS – Unidades de Tratamento Simplificadas

VMP – Valor Máximo Permitido

WFD – *Water Framework Directive*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
3.1 QUALIDADE DA ÁGUA .....	5
3.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	7
3.2.1 <i>Apanhado histórico sobre o abastecimento</i> .....	8
3.2.2 <i>Técnicas de tratamento</i> .....	10
3.2.3 <i>Sistema de abastecimento em áreas rurais</i> .....	12
3.3 ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM SERGIPE.....	13
3.4 FILTRAÇÃO.....	15
3.4.1 <i>Generalidades</i> .....	15
3.4.2 <i>Mecanismos de filtração: transporte e aderência</i> .....	17
3.4.3 <i>Camada biológica</i> .....	18
3.4.4 <i>Meio filtrante</i> .....	19
3.4.5 <i>Estado da arte: filtração lenta no tratamento de água subterrânea</i> .....	19
3.5 MEIO FILTRANTE NÃO CONVENCIONAL.....	23
3.5.1 <i>Caracterização de materiais não convencionais</i> .....	23
3.6 MOLUSCOS BIVALVES .....	27
3.6.1 <i>Características gerais</i> .....	27
3.6.2 <i>Malacocultura</i> .....	28
3.6.3 <i>Cultura do sururu (Mytella guyanensis)</i> .....	29
3.6.4 <i>Potenciais usos das conchas</i> .....	30
3.7 PARÂMETROS DE POTABILIDADE .....	31
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
4.1 INSTALAÇÃO HIDRÁULICA .....	33
4.2 MEIO FILTRANTE .....	34
4.2.1 <i>Areia</i> .....	34
4.2.2 <i>Conchas de sururu</i> .....	36
4.3 CAMADA SUPORTE .....	40
4.4 CARACTERIZAÇÃO E DADOS OPERACIONAIS DO SISTEMA PILOTO: FILTROS .....	41
4.5 ANÁLISES DE ÁGUA BRUTA E TRATADA .....	44
4.6 LIMPEZA DOS FILTROS .....	45

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>47</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FILTRANTE.....	47
5.1.1 Areia .....	47
5.1.2 Conchas de sururu .....	48
5.2 CAMADA SUPORTE .....	56
5.3 ANÁLISES DE PARÂMETROS DE QUALIDADE – SISTEMA PILOTO .....	59
5.3.1 Água bruta.....	59
5.3.2 Cor aparente e turbidez .....	61
5.3.3 Dureza .....	65
5.3.4 pH .....	66
5.3.5 Ferro total e alumínio .....	67
5.3.6 Coliformes totais e termotolerantes.....	70
5.3.7 Desempenho dos filtros.....	72
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>77</b>
<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE G.....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE H.....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE I.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE J.....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE K.....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE L.....</b>	<b>107</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A água, líquido em maior abundância na Terra é, também, um recurso essencial para a vida e economia global. Todavia, apesar da quantidade de água no mundo, a maior proporção é salina (WATER, 2022). Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA, a água salina, que engloba cerca de 97,5% de toda água do planeta, não é adequada para o consumo humano e agricultura. Por conseguinte, a maior proporção dos 2,5% de água doce, considerada tipo adequado ao consumo, está presente nas geleiras, o que torna difícil sua utilização (ANA, 2023).

Por abranger diversas áreas como a saúde, economia e política, o panorama da disponibilidade hídrica é preocupação global e objeto de estudo de diversos pesquisadores (Madani, 2010). O acesso à água está fortemente relacionado com a saúde, destarte, o *Safe Drinking Water Committee* publicou nove volumes de relatórios entre os anos de 1977 e 1989, com abordagem dos efeitos adversos que cada contaminante presente na água pode causar nos seres humanos (SAFE, 1989). Quanto à economia, é necessária como matéria prima para agricultura, indústria e manutenção da vida, quando se considera o ser humano como agente da produção econômica, faz-se necessário buscar a valoração da água (UN, 2021).

Visando garantir o acesso de qualidade e quantidade a todos, a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 06 – Água Potável e Saneamento. Tal objetivo é um dos 17 criados pela ONU, cada um deles com diversas metas norteadoras para que todos os países trabalhem em suas políticas internas e externas. Concernente ao objetivo 6, ou ODS 06, a ONU propõe que seja realizado o uso consciente da água, à preservação e restauração de ecossistemas aquáticos, e que sejam investidos recursos para proporcionar sua universalização, ou seja, que o abastecimento de água atenda a todos (ONU, 2023).

Segundo dados de 2021 do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), o abastecimento de água no Brasil abrange 84,2% da população pesquisada, 98,6% da amostra total brasileira. Contudo, quando comparadas, as médias de cobertura entre determinadas regiões chegam a divergir em mais de 30%, como é o caso da Região Sudeste e Região Norte, com 91,5% e 60%, respectivamente. De modo semelhante, há desigualdade entre as zonas rurais e urbanas brasileiras, enquanto a média nacional de cobertura para zona urbana chegou aos 93,5% em 2020, a média para zona rural é de aproximadamente 30,5% (BRASIL, 2021a).

A diferença entre as porcentagens da zona urbana e rural pode ser explicada como reflexo da difícil missão de implantação de redes de abastecimento em regiões descentralizadas, pelo maior custo dado às distâncias entre as unidades domiciliares e pelo histórico fato de serem zonas com menores investimentos. Desse modo, por não demandarem construção de longas redes, além de serem capazes de garantir o acesso à água de qualidade, sistemas individuais de tratamento de água tornam-se técnicas com capacidade de diminuir a diferença entre essa porcentagem (Whately; Lerer; Jardim, 2020; Vu; Wu, 2022).

Dentre as técnicas de tratamento individual de água, existe o tratamento por filtração lenta, que foi utilizada pela primeira vez com destino abastecimento humano na Escócia e na Inglaterra, no início do século XIX. A técnica chegou à América entre as décadas de 1920 e 1930 do século passado, nos Estados Unidos da América (EUA), chegando ao Brasil em meados do mesmo século. De forma simplificada, esse tipo de dispositivo tenta reproduzir a filtração que acontece na natureza, quando a água, ao infiltrar-se no solo, obtém melhora em sua qualidade. Por conseguinte, os filtros tradicionais são feitos com meio filtrante de areia ou pedregulho. No entanto, por se tratar de uma técnica que demanda espaço para implantação, devido a sua baixa taxa de filtração, foi substituída pela filtração rápida, que é uma técnica que permite tratar maior vazão de água em menor área de filtro (Richter, 2009; Di Bernardo; Sabogal-Paz, 2008; Kohne; Logsdn, 2004).

Normalmente, trata-se a água para ser utilizada para consumo humano, por existir poluentes/contaminantes na composição da água, ainda na natureza. Por causa da variedade de contaminantes presentes na água, surgiu a necessidade de aplicação de meios filtrantes não tradicionais ou tratamento dos materiais tradicionais, a fim de adaptar os filtros para remoção de determinado poluente. Os meios filtrantes não tradicionais, por sua vez, são escolhidos a partir de suas características e, muitas vezes, de acordo com a disponibilidade na região (Garcia-Ávila et al., 2021; Vu; Wu, 2022; Śmiech et al., 2018). Santos, Lima e Michelin (2021), em seu trabalho de revisão sistemática sobre filtração lenta, observaram que 68,75% dos 32 artigos estudados utilizavam materiais não convencionais, com cascalhos sendo o material predominante na camada suporte e areia revestida com ferro o mais presente no meio filtrante.

A possibilidade de utilizar resíduos locais como materiais não convencionais em filtros dialoga com o ODS 12 – Consumo e Produções Responsáveis, da ONU. Dentre suas metas, o objetivo busca diminuir a geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reuso, além da gestão eficiente sustentável e uso eficiente de recursos naturais (ONU, 2023).

Preocupados com possíveis impactos que a geração de resíduos possa alterar as condições do meio ambiente, buscou-se estudar utilidades para as conchas de molusco, considerado

resíduo produzido de forma substancial, no território brasileiro. Como proposta de mitigar possível impacto negativo, observou-se que apenas a parte interna do molusco é aproveitado no ramo alimentício. As conchas que envolvem o molusco são descartadas e tornam-se potenciais causadoras de problemas ambientais, seja por atraírem vetores de doenças ou por desestabilizarem os ecossistemas aquáticos. Desse modo, pesquisadores brasileiros estudam sua utilização na construção civil, enquanto diversas patentes ao redor do mundo as trazem como ferramentas no tratamento de águas residuais (Menezes; Marques; Souza, 2022; Costa, 2021; Mata et al., 2019).

Diante do exposto, o presente estudo visou investigar a capacidade de utilização da concha do molusco *Mytella guyanensis*, ao comparar filtros lentos convencionais com filtros preenchidos com conchas. Para isso, os índices foram comparados com a legislação brasileira que impõe parâmetros sobre a qualidade da água e seus respectivos mecanismos de controle para o abastecimento humano no Brasil, através da Portaria nº888/2021 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021b).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliação do uso de filtro lento convencional e não convencional (com conchas de sururu) no tratamento de águas subterrâneas em regiões rurais, com fim de abastecimento humano.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar os materiais utilizados no meio filtrante convencional e não convencional;
- Avaliar a qualidade da água bruta e filtrada durante a operação de sistemas piloto;
- Comparar a eficiência dos filtros convencionais e não convencionais;
- Verificar a influência das estruturas do material não convencional, concha de sururu, na qualidade de água tratada.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Qualidade da Água

Apesar de atualmente ser informação difundida, a relação entre água e saúde nem sempre foi sabida. Segundo Vieira (2018), a primeira epidemia registrada ocorreu no Egito há cerca de 3180 a.C., todavia, apenas a partir do século XIX e XX a ciência conseguiu trazer estudos que vinculavam a transmissão de determinadas doenças com a qualidade da água, conduzindo ao desenvolvimento de políticas sanitárias.

Embora reconhecida desde antes do início do século XX, de acordo com Carvalheiro (2015), foi no final do século XX após a realização da Rio-92 conhecida como “Cúpula da Terra”, que houve a intensificação global sobre as temáticas que envolvem a qualidade da água. Na Europa, segundo Carvalho et al. (2019), no ano 2000 foi promulgado o *Water Framework Directive* (WFD), considerado política pioneira para proteção dos ecossistemas aquáticos dos países da União Europeia. O WFD fez difundir diversos métodos de avaliação da qualidade de água, fornecendo tanto o conhecimento sobre o estado dos recursos hídricos, quanto o monitoramento (EEA, 2018; Voulvoulis et al., 2017; Birk et al., 2013; EEA, 2012).

Junto ao desenvolvimento do sanitarismo moderno, tem-se a intensificação da poluição dos corpos hídricos em decorrência das ações antrópicas (Vieira, 2018). Visando solucionar essa problemática, não só a União Europeia adotou medidas para reduzir os impactos, como outros países estabeleceram políticas mais rigorosas ou desenvolveram tecnologias de monitoramento. A China, consoante Xu et al. (2020), preocupada com a poluição das águas, desenvolveu padrões mais rigorosos concernentes à descarga de efluentes. Como modelo de tecnologia avançada no que tange monitoramento, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos elaborou o sistema que permite a análise da qualidade de água com a utilização de satélites (Elhag et al., 2019), podendo ser utilizado por pesquisadores na vigilância de corpos hídricos remotamente.

Em território brasileiro, diversas são as leis, resoluções e portarias que buscam garantir o acesso à qualidade de água para variados usos. Como exemplo de lei federal tem-se a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela lei 9.433/97 (BRASIL, 1997). Além de inúmeros conceitos e objetivos, a PNRH estabelece o enquadramento de corpos hídricos (CH) como um dos instrumentos a serem instituídos no país, que pode ser definido como a

classificação de CH quanto à qualidade, a fim de que haja compatibilidade com seus usos. Desse modo, os corpos enquadrados em determinada classe devem manter padrões ou mesmo melhorá-los, para que não haja comprometimento à saúde (Herreira; Pizella, 2020).

O enquadramento de CH superficiais é feito a partir da resolução número 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005). Neste, os corpos hídricos são classificados quanto a salinidade: doce, salobra e salina. Há ainda a subdivisão desses tipos, com o grupo de água doce possuindo a Classe Especial e a Classe 1, 2, 3 e 4, enquanto as salobras e salinas possuem a Classe Especial, 1, 2 e 3. Para cada uma das classes existem níveis máximos permitidos para cada uma das dezenas de parâmetros físicos, químicos e biológicos, além da indicação quanto aos respectivos usos (BRASIL, 2005).

Outra resolução que diz respeito a qualidade de água e seus respectivos usos, é a CONAMA 396 (BRASIL, 2008). A resolução nº 396, assim como a nº 357, classificam as águas subterrâneas em classes distintas, porém variando da Classe Especial para a Classe 5. Um fator importante, é que não há distinção quanto a salinidade, contudo, há especificidade quanto a percepção de ação antropogênica nas águas subterrâneas, onde a partir da Classe 3 são classificadas as águas que sofreram ação humana (BRASIL, 2008).

Quanto a ação humana que impactam negativamente os corpos hídricos, a resolução brasileira se sustenta de forma a minimizar estes impactos em diretrizes citadas no CONAMA 430 (BRASIL, 2011), que discorre sobre padrões de lançamento de efluentes em CH. Como exemplo, há restrição de despejo de qualquer tipo de efluente em corpos hídricos da Classe Especial, enquanto para as outras classes, o lançamento não deve comprometer os padrões limites preconizados. Em caso de não existência do enquadramento, a resolução também traz valores máximos permitidos para diversos parâmetros a serem analisados antes do lançamento do efluente (BRASIL, 2011).

Quanto à qualidade de água destinada ao abastecimento humano, o Ministério da Saúde, portaria nº 888 (BRASIL, 2021b), aborda acerca do padrão de potabilidade e seus respectivos mecanismos de controle. Para que se enquadre neste padrão, a água deve estar dentro de limites bacteriológicos (*Escherichia Coli*, coliformes totais etc.), físicos (turbidez, cor etc.) e químicos, que são subdivididas em substâncias inorgânicas (ferro, alumínio etc.) e orgânicas (benzeno, xileno etc.). Os métodos e parâmetros de avaliação usados são variados, seguindo premissas que dependem da origem da água (bruta, tratada, subterrânea, superficial etc.), ou seja, as análises podem variar tanto na fase preliminar, quanto durante a fase posterior ao tratamento (BRASIL, 2021b; Von Sperling, 2014).

### 3.2 Abastecimento de Água

Considerado por diversos autores um dos pilares do saneamento básico, o abastecimento de água é um direito assegurado ao cidadão brasileiro pela lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (Branco Filho et al., 2021; BRASIL, 2020; Pasini; Damke, 2020; Santiago et al., 2019). Para proporcionar tal direito, faz-se necessária a implementação de Sistema de Abastecimento de Água (SAA) que, segundo RECESA (2008), contém várias etapas, iniciando na captação da água e com término na distribuição.

As etapas contidas no SAA dependem das necessidades específicas de cada projeto, estando sujeitas a parâmetros como: tipo de manancial de captação, qualidade da água do manancial, topografia da região e forma de distribuição coletiva ou individual. Todas essas especificidades são analisadas na fase da concepção de projeto, para que o acesso em quantidade e qualidade seja garantido (BRASIL, 2016; RECESA, 2008).

A etapa de captação de água está fortemente conectada com o manancial escolhido, podendo ser entendida como o subconjunto cujo propósito é extrair a água escolhida, após avaliada a qualidade e quantidade para suprimento da população a qual será disponibilizada. Quanto ao manancial, há possibilidade de ser um corpo hídrico subterrâneo (lençol freático e aquífero) ou superficial (represas, lagos, rios etc.), sendo escolhido a partir das necessidades supracitadas e da viabilidade técnico-econômica do projeto (BRASIL, 2019; Tsutiya, 2006).

Antes e após o tratamento, a água é transportada através da rede de adução. Ao transportar a água não tratada, tem-se a denominada adução de água bruta e, após o tratamento, a adução de água tratada. A condução da água pode ser feita por gravidade, método mais simples e desejado, ou pode requerer a construção de estações elevatórias para vencer níveis topográficos mais elevados, em que se faz necessário o bombeamento da água (BRASIL, 2019; Heller; Pádua, 2010).

Para que se enquadre nos parâmetros de qualidade, a água captada em sua forma bruta necessita passar por tratamento. Uma das etapas mais importantes do SAA no que tange qualidade de água é a Estação de Tratamento de Água (ETA), pois é a responsável por enquadrar a água aos níveis de qualidade exigidos pela portaria de potabilidade. O tratamento pode ser simplificado, com a simples desinfecção, ou mais complexo, com diversos processos que podem incluir gradeamento, coagulação, mistura, decantação, filtração, entre outros, que dependem do estado da água bruta e tempo de funcionamento da ETA. Quanto ao volume de água a ser tratado, esse dependerá da população a ser abastecida, havendo demandas coletivas e individuais, que implicam na escolha do método de tratamento (Andrade Neto, 2006; RECESA, 2008).

As últimas fases do SAA são a de reservação e distribuição de água tratada, ambas devem preservar a qualidade da água após tratamento na ETA. Ademais, essas fases podem ser

concebidas de duas formas: isolada ou integradas. A primeira forma possui como fonte de reservação um único manancial e abastece uma localidade específica (Figura 01), enquanto a segunda pode receber água de mais de um manancial e distribuir água para mais de uma localidade, dependendo das necessidades operacionais (Batista, 2022; RECESA, 2008; Von Sperling, 2014).

Figura 01: Exemplo de sistema de abastecimento de água isolado.



Fonte: RECESA (2008).

### 3.2.1 Apanhado histórico sobre o abastecimento

A contínua evolução e novas formas de organização social e econômica trouxeram preocupações previamente não existentes. Ao passo que deixaram o nomadismo, a população passou a se aglomerar em regiões, proporcionando a formação das grandes civilizações e consequente preocupações sanitárias (Athaydes; Parolin; Crispim, 2020) como a necessidade do fornecimento ininterrupto de água. Os romanos foram vanguardistas ao elaborarem grandes obras de engenharia, os aquedutos, para o transporte de água ainda no século III a.C. (Rocha et al., 2004).

Consoante a qualidade de água, os egípcios possuíam técnicas de tratamento, como a adição do sulfato de alumínio para proporcionar o clareamento da água e a decantação. Ademais, possuíam tubulações de cobre, que garantia a distribuição de água. Segundo pesquisadores, esses ocorriam entre os anos de 2.750 e 1.500 a.C. (Barros, 2014; Rezende; Heller, 2002).

Apesar das preocupações com o consumo de água em épocas tão remotas, o modelo feudal instituído após a queda do Império Romano trouxe o retrocesso às questões sanitárias. A população passou a se concentrar novamente em regiões rurais com precárias condições, culminando na fase conhecida como Era das Trevas, onde havia descaso com a saúde, que

durou 10 séculos, entre os anos de 400 e 1.400 d.C. (Rocha et al., 2004; Abiko; Almeida; Barreiros, 1995; Scliar, 1987).

Ao fim do período supracitado, houve novamente o êxodo rural, proporcionado pelo período chamado de Renascimento e a volta do homem as cidades. Entretanto, a concentração de pessoas nas cidades passou a ser o novo risco. O aumento da poluição dos corpos hídricos pela geração de esgoto, resultou em surtos epidemiológicos associados à contaminação hídrica. A cólera foi responsável pela morte de europeus, fazendo com que a Inglaterra tomasse medidas que visavam mitigar a poluição e evitar a proliferação de doenças, ainda em meados do século XIX. Todavia, somente no ano de 1829 a primeira ETA em Londres foi construída (Schwanke, 2013; Castro-Santos, 1994; Drew, 1986).

No Brasil, antes da chegada dos portugueses, os indígenas possuíam hábitos de higiene e qualidades ambientais que lhes proporcionavam estabilidade. Porém, com a chegada dos portugueses e posterior processo de escravização e formação do Brasil colonial, fez-se necessário a construção de chafarizes comunitários para proporcionar o abastecimento de água nas vilas. Apenas no ano de 1750 se teve a construção de aqueduto para distribuição de água na cidade do Rio de Janeiro (Hermann, 2012; Souza, 2009; Rezende; Heller, 2002).

Com o fim do período colonial e Proclamação da República, os serviços de saneamento passaram a ser obrigação do Estado, seguindo diretrizes da Lei nº 43 de 1892. Contudo, a infraestrutura para propiciar tais benefícios era de origem estrangeira. No início da república brasileira, houve surtos sanitários decorrentes da chegada de europeus ao país, trazendo a necessidade do primeiro código sanitário no estado de São Paulo no ano de 1894 (Miranzi et al., 2010; SÃO PAULO, 1894).

Outro marco histórico relacionado ao saneamento no Brasil é o Código das Águas. Decretado na década de 30 do século passado, além de possuir trechos que dispõe sobre a preservação de corpos hídricos e diversos conceitos, o código traz a população como prioridade no abastecimento, ponto também citado no Art. 1º da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei nº 9.433 de 1997 (BRASIL, 1934; BRASIL, 1997).

Atualmente, o novo marco do saneamento, decretado pela lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, regulamenta diversas diretrizes no que tange o abastecimento de água, como é o caso da atribuição dada à ANA como agente fiscalizadora. Cabe à agência, o estabelecimento dos padrões de qualidade e eficiência na prestação do serviço.

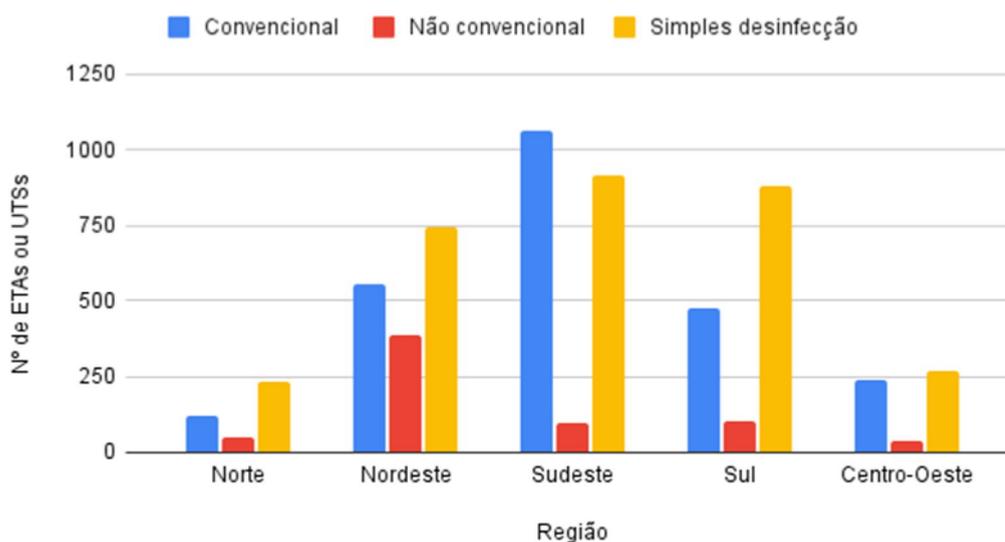
### 3.2.2 Técnicas de tratamento

O tratamento de água é uma das etapas que compõem o SAA, compreendido nas ETAs. De acordo com Richter (1991), para garantir o tratamento efetivo de água é necessário o estudo de sua qualidade de forma abrangente, ou seja, é fundamental que sejam realizadas análises em diferentes épocas do ano, além de coletas em diferentes locais. Ainda segundo o autor, toda a condição sanitária da bacia hidrográfica deve ser monitorada.

De forma sucinta, Seckler (2017) afirma que o objetivo de qualquer ETA é alterar a qualidade da água bruta, fazendo com que atenda o padrão de potabilidade atual. Para isso técnicas de tratamento diferentes são utilizadas. Conseqüentemente, quanto melhor a qualidade da água bruta, mais simples pode ser o tratamento. Um modelo amplamente utilizado no Brasil é o chamado tratamento convencional, envolvendo as etapas de mistura rápida, floculação, decantação, filtração e desinfecção (Souza, 2004).

Apesar do tratamento convencional ser amplamente difundido, segundos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) do ano de 2017, os modelos de simples desinfecção são os métodos mais utilizados no Brasil (Figura 02). Há também os tipos não convencionais, cuja utilização é necessária para remoção de materiais orgânicos e inorgânicos resistentes às técnicas convencionais, ou seja, novas tecnologias podem ser adaptadas em determinadas fases do tratamento para obtenção de melhores resultados, como é o caso do uso de carvão ativado, flotação, utilização de membranas etc. (IBGE, 2017; Seckler, 2017).

Figura 02: Distribuição de ETAs e unidades de tratamento simplificadas (UTS) nas regiões brasileiras.



Fonte: Adaptado IBGE (2017).

(a) *Modelo Convencional de Tratamento de Água*

As estações de tratamento convencionais seguem um modelo padrão, podendo variar os métodos construtivos e/ou técnicas, como a mecanização ou não de determinadas etapas. No que se refere à mistura da lâmina de água em tratamento, dentro das ETAs convencionais há a mistura rápida e lenta. A mistura rápida tem como objetivo a dispersão de coagulante de forma uniforme em toda a água a ser tratada, enquanto a mistura lenta, proporciona a interação entre as partículas na fase de floculação, sem que haja a quebra dos flocos (Richter, 1991).

Apesar de serem confundidas, as etapas de coagulação e floculação são fases distintas do tratamento (Richter, 1991). Segundo Howe (2016), a coagulação pode ser definida como a adição de um produto, químico ou biológico, capaz de proporcionar a adesão de partículas presentes na água bruta, sendo a adesão considerada como a etapa de floculação. As partículas podem ser de origem orgânica ou inorgânica, patogênicas ou não, portanto, ainda segundo o autor, é importante conhecer os constituintes da água bruta para melhor escolha dos coagulantes e consequente efetividade dos processos.

O processo de decantação, também conhecido como sedimentação gravitacional, é a etapa do tratamento que utiliza o próprio peso dos flocos formados nas etapas anteriores para a remoção das impurezas presentes na água. Desse modo, caracteriza-se como etapa física, em que o repouso da água em tanques decantadores proporcionam a separação da parte mais leve (água) das mais pesadas (flocos) pela aceleração gravitacional (Seckler, 2017).

Após a decantação, a água é encaminhada para etapa de filtração. Essa fase, que será melhor explicada no item 3.3, tem o objetivo de remover os sólidos em suspensão que não foram floculados e decantados. A água filtrada é então encaminhada para a última das etapas, a desinfecção. Apesar da existência de todas as fases anteriores capazes de remover partículas patogênicas a partir de fatores físicos e químicos, é a desinfecção que proporciona a inativação de possíveis microrganismos patogênicos presentes na água (Seckler, 2017; Howe, 2016).

(b) *Modelos Não Convencionais de Tratamento*

O aumento de materiais contaminantes na água exige cada vez mais processos sofisticados de tratamento, como é o caso da filtração por membrana. Substituindo a filtração feita por meio de leitos filtrantes granulares, esse tipo de filtração é feito por membranas sintéticas com espessuras muito finas, > 1 mm. Quando o uso de membrana proporciona a separação de sólidos dissolvidos por difusão preferencial, o processo é chamado de osmose inversa ou reversa. Com capacidade de remover sais, a osmose inversa é muito utilizada para

proporcionar a potabilidade de águas salobras e salinas. Há ainda subclassificações, que envolvem as dimensões dos poros das membranas, como por exemplo a microfiltração com poros de 0,1 µm, ultrafiltração com poros de 0,01 µm e nanofiltração, poros de 0,001 µm (Howe, 2016).

Outros exemplos de métodos não convencionais envolvem a oxidação do material não removido no tratamento convencional. Os produtos mais utilizados para oxidação são o peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>), por possuírem estabilidade química. O ozônio pode ser associado a desinfecção com radiação ultravioleta, técnica capaz de proporcionar inativação dos microrganismos patogênicos a partir da entrada de radiação nas células (Bittencourt; Paula, 2014; Tinôco, 2012).

### 3.2.3 *Sistema de abastecimento em áreas rurais*

Assim como há diferentes características entre áreas rurais e urbanas, quanto à população e hábitos socioculturais, os sistemas de abastecimento de água também são distintos. Nas áreas rurais, devido ao maior espaçamento entre as economias (edificações), há maior proporção comprimentos/instalações na rede de distribuição, fator que dificulta a implantação dos sistemas (Alves; Araújo, 2016), porém, de modo contrário, a menor concentração populacional culmina em menores retiradas de água dos corpos hídricos e, conseqüentemente, menores demandas por água tratada.

Apesar dos corpos hídricos em regiões rurais apresentarem menores interferências antrópicas que os das regiões urbanas, de acordo com Azevedo (2006), são raros os que não recebem interferência humana. Assim sendo, o uso de técnicas de tratamento de fácil implementação e operação são necessárias para garantir o acesso de água potável para a população (Sabogal-Paz; Campos; Bogush, 2020).

Uma das técnicas utilizadas pela população rural é a de simples fervura da água. A própria Organização Mundial da Saúde (OMS) afirma que o método de tratamento é capaz de eliminar patógenos presentes na água, a partir do aumento da temperatura do líquido. De maneira similar, a técnica de desinfecção solar proporciona a exposição da água à radiação ultravioleta, causando a inativação de bactérias e vírus pela atuação sinérgica entre o efeito da radiação e elevação da temperatura. Quanto ao tempo de exposição, este segue características específicas, como temperaturas locais e materiais usados na reservação da água (EAWAG/SANDEC, 2002; WHO, 2013).

Outro tratamento muito utilizado em regiões rurais pela sua fácil operacionalidade é a decantação. Embora seja uma etapa do tratamento convencional, a técnica pode ser usada como

um tratamento simplificado. Exemplificando, segundo Pádua (2010), seu uso pode substituir os processos de coagulação e floculação, ou seja, além de suprimir duas etapas de tratamento, diminuiria o custo com aquisição de produtos químicos.

Outro exemplo de uso de técnica sem uso de produto químico, é a filtração em margem (FM). A técnica de FM é utilizada há muito tempo no tratamento de água, sendo objeto de pesquisa de diversos autores. Em suma, a partir da perfuração de poço próximo ao manancial, a água é induzida a preencher o espaço vazio construído. Durante o deslocamento, a água é filtrada de modo semelhante ao que acontece nos filtros utilizados no tratamento convencional, onde há retenção física de partículas durante o fluxo da água (Barbosa et al., 2018; Paiva, 2009; Sens et al., 2006; Ray et al., 2002).

Outro tipo de filtração que atende as demandas do abastecimento da população rural é a filtração lenta. Unindo a baixa capacidade de filtração, com fácil instalação e operação, diversos autores apontam como tecnologia capaz de tratar água de forma eficaz (Vu; Wu, 2022; Di Bernardo; Sabogal-Paz, 2008; Di Bernardo; Brandão; Heller, 1999). Ademais, ainda que seja uma tecnologia eficaz, há ainda a necessidade de posterior desinfecção, como em qualquer técnica de tratamento realizada, sendo a cloração a mais difundida. A adição do cloro em proporções ideais é capaz de eliminar microrganismos como: vírus e bactérias (Vilholth, 2011). Grande parte da desinfecção que pode ser visualizada na Figura 2 é feita com o uso do cloro em águas de classes adequadas a simples desinfecção, de acordo com as resoluções número 357 e 396 do CONAMA (IBGE, 2017; BRASIL, 2005; BRASIL, 2008).

### **3.3 Abastecimento de água em Sergipe**

Apesar de o sanitarismo moderno surgir no final do século XIX e início do século XX (Vieira, 2018), os corpos hídricos brasileiros, parte fundamental do saneamento básico, principalmente no que tange o abastecimento de água, eram citados por navegadores portugueses. Cabral (2007), em seu livro sobre a origem de Japaratuba, município sergipano, traz transcrições literais que demonstram que o reconhecimento do estado era feito a partir da foz de cada um dos rios principais do estado.

Analogamente, Santana (2014), relaciona a ocupação portuguesa ao estado com o abastecimento de água. Os indígenas pertencentes às tribos sergipanas se localizavam próximos das fontes de água, fato que foi usado como estratégia pelo comandante Cristóvão de Barros durante a invasão da região. O português privou os indígenas do acesso à água ao

montar cercos ao redor das fontes de abastecimento, forçando o combate e/ou fuga por parte dos indígenas.

De maneira semelhante ao citado por Vieira (2018) quanto ao surgimento de leis que visavam proteção do meio ambiente, por perceber sua relação com a saúde da população, foi no século XIX que foram identificadas as primeiras resoluções concernentes à preservação de corpos hídricos. A primeira delas é datada em 3 de março de 1835, na então Câmara Municipal da Villa do Socorro e trazia multas e penas de reclusão a quem praticasse atos relacionados a poluição de água e degradação de matas ciliares (Santana, 2014):

Art. 20. Fica prohibido lavar roupa, couros e tudo que possa infeccionar as fontes da serventia publica, ou as revolver: o contraventor pagará mil rs., ou oito dias de prisão, e se for menor, ou captivo, será responsável o tutor, ou Sr.

Art. 21. Fica prohibido roçar as fontes nativas na distancia de dez braças em roda: o contraventor pagará dez mil rs., ou sofrerá oito dias de prisão.

Ainda no séc. XIX, diversas vilas do estado solicitaram verbas para construção de açudes a fim de fornecer água para população, todavia, de acordo com Santana (2014) muitas solicitações não foram atendidas, como a solicitação feita pela Câmara de Itabaiana em 1869 que, apesar de ser aceita pelo então vice-presidente da província, não chegou a ser posta em prática:

O Vice-Presidente da Provincia em vista do que lhe acaba de ser ponderado pela Camara Municipal da Villa de Itabaiana relativamente a falta absoluta de aguas nas matas onde existe uma grande população que se emprega no plantio e cultura do algodão, falta que atualmente assume extraordinárias proporções; atendendo que o tempo mais próprio de abrir açudes é o actual pela facilidade d'obterem-se trabalhadores por preços rasoavies [...] por taes considerações resolve o Vice-Presidente marcar a quantia de 1:000\$000rs. Para edificação de um açude no lugar denominado Lagôa do Junco [...].

Outro marco histórico do estado que está relacionado ao saneamento é a mudança da capital. Em 1855, quando a capital da província deixou de ser a cidade de São Cristóvão e passou a ser o até então povoado Aracaju, começou a busca por água salubre prometida pelo presidente provincial Ignácio Barbosa. Por anos a população de Aracaju, locada na região pantanosa, foi abastecida por apenas uma fonte de água subterrânea com qualidade desconhecida. Apesar de conseguir recursos para equipamento de captação (bomba) de forma rápida, as informações acerca da qualidade da água não foram satisfatórias e chegaram de forma tardia. As coletas realizadas em 1856 e enviadas para serem testadas na Bahia trouxeram respostas apenas no ano de 1860, com resultados que apontavam má qualidade da água (Santana, 2014).

A população da capital sergipana foi abastecida por mais de 50 anos de forma precária, até que houvesse a inauguração da primeira infraestrutura de distribuição de água encanada no ano de

1909, com captação no Rio Pitanga. Quanto ao interior do estado, apesar de terem sido construídos alguns açudes e perfurados poços em alguns municípios, a canalização de água só ocorreu após a década de 50 do século passado. Antes disso, a distribuição era realizada a partir da coleta individual ou dos denominados aguadeiros, ou seja, pessoas que realizavam o serviço de transporte de água até os imóveis (Santana, 2014).

Passado mais de 110 anos desde a primeira obra de distribuição de água canalizada no estado, dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS) do ano de 2021, com referência sobre o ano de 2020, concede ao estado cobertura total de saneamento de 89,12%. De modo análogo ao que acontece no cenário nacional, a população urbana do estado detém maior cobertura que a população rural, com 97,89% de abastecimento (BRASIL, 2021a). De maneira hegemônica, a Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO é responsável pelo abastecimento total de 71 dos 75 municípios do estado (DESO, 2022).

### **3.4 Filtração**

#### *3.4.1 Generalidades*

A patente do primeiro filtro é datada de 1791, na Inglaterra, contudo, só em 1804 a técnica foi usada para abastecimento público na Escócia (Rocha, 2016). A técnica de filtração, segundo Souza (2007), é um processo pelo qual a água é tratada a partir da retenção de materiais suspensos durante a passagem da água bruta por um meio filtrante granular.

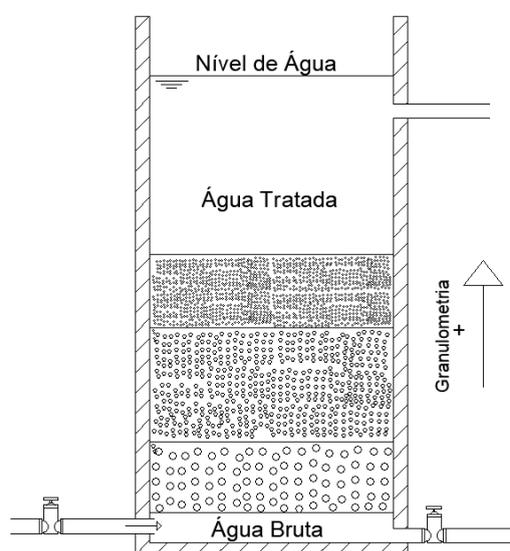
A retenção é resultado de diversos mecanismos, sendo dividido por Di Bernardo (2003) em mecanismos de transporte, adesão e biológicos, influenciada pelas características do filtro, a exemplo: capacidade de filtração, sentido de fluxo, meio filtrante, número de camadas filtrantes (simples ou múltiplas), entre outros. No tocante à capacidade de filtração expressa em  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , os filtros usados no processo são classificados em rápidos e lentos. Enquanto a técnica de filtração rápida pode operar com taxa de filtração até  $480 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , a filtração lenta compreende, normalmente, taxas de 2,4 a  $9,6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  (Libânio, 2010; Souza, 2007).

Quanto ao sentido de escoamento, podem ser caracterizados com o sentido ascendente e descendente. Segundo Di Bernardo (1980), os filtros de fluxo ascendente, em que o sentido de filtração é de baixo para cima (Figura 03), não conseguem ser tão eficientes na redução de turbidez quanto os descendentes (Figura 04), que apresentam melhor eficiência na remoção de bactérias pela formação da camada biológica. Em razão das melhores eficiências supracitadas, os filtros podem ser usados de forma combinada - dupla filtração. Di Bernardo, Brandão e Heller

(1999), ao discorrer sobre a dupla filtração, afirma que os filtros ascendentes servem como um pré-tratamento da filtração descendente.

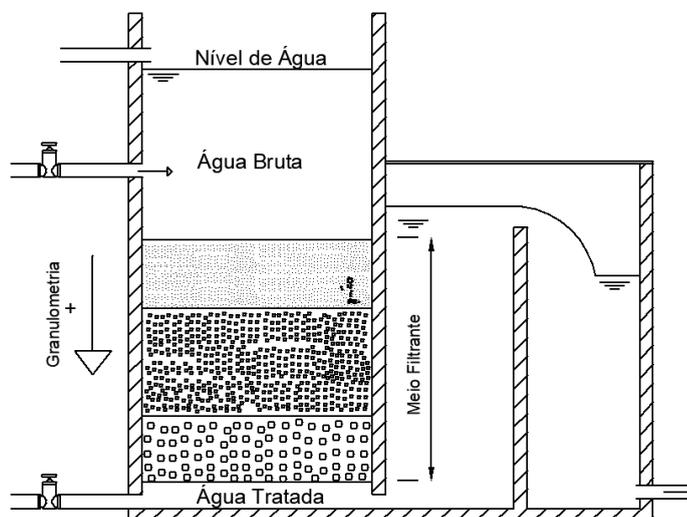
Ante o exposto, objetivando aproveitar as características de cada filtro, no tocante a remoção de substâncias, e impedir a colmatção dos meios filtrantes, a técnica de filtração em múltiplas etapas (FiME) é considerada efetiva no tratamento de águas com turbidez significativa. Atribui-se a este fato a disposição das etapas: pré-filtração dinâmica, pré-filtração grosseira e filtração lenta. As duas primeiras etapas são indicadas ao tratamento de água com turbidez maiores que 10 uT, removendo materiais mais grosseiros da água até que chegue a etapa de filtração lenta (Di Bernardo; Brandão; Heller, 1999).

Figura 03: Esquema representativo de filtração ascendente.



Fonte: Autor (2024).

Figura 04: Esquema representativo de filtração descendente.



Fonte: Autor (2024).

Comumente, o processo filtração é feito de forma conjunta com outras etapas, como é o caso do que ocorre, em geral, no tratamento convencional das ETAs. O tratamento convencional segue, usualmente, a etapa de coagulação na mistura rápida, floculação, decantação e a então filtração. Isso se deve ao fato da diminuição progressiva da qualidade de água bruta (Libânio, 2010; Di Bernardo; Sabogal-Paz, 2008).

### *3.4.2 Mecanismos de filtração: transporte e aderência*

Em seu artigo sobre a teoria da filtração, Di Bernardo (1980), discorre sobre seis parâmetros de transporte que envolvem o mecanismo de filtração: ação física do coar, impacto inercial, interceptação, sedimentação, difusão e ação hidrodinâmica. Quanto aos mecanismos de aderência, Lima (2020) os separa em três, forças de van der Waals, forças eletrostáticas e as pontes de hidrogênio.

#### *(a) Transporte*

O primeiro mecanismo de transporte a ser citado é o de mais simples entendimento, segundo Lima (2020). É a simples relação entre granulometria das partículas presentes na água e porosidade do meio filtrante que influenciam na ação física do coar. Em suma, tendo a partícula uma dimensão superior ao dos poros do meio filtrante, ficará retida e eliminada da água tratada (Di Bernardo, 1980).

Para o entendimento do impacto inercial, Valencia (1972), atribui ao fluxo da água em choque com o fluxo formado pelos grãos do meio filtrante. Simplificando, o meio forma um obstáculo inercial ao fluxo afluyente da água, proporcionando a retenção das partículas. Ainda relacionado ao fluxo, o autor discorre sobre o mecanismo de interceptação. Segundo o pesquisador, a diminuição de espaço da posição inicial (antes da passagem pelo filtro) para o espaço disponível entre os grãos, faz com que a velocidade das partículas aumente, elevando também a energia cinética entre as partículas e seus tamanhos, devido à união de partículas. Consequentemente, o material é interceptado pelo meio filtrante.

Como resultado da interceptação, há alteração nas características físico-químicas da água, como a densidade, temperatura e viscosidade, causada pela mudança nas propriedades das partículas. Toda essa modificação culmina na sedimentação de material nos poros da camada filtrante (Amirtharajah, 1988).

A difusão foi citada por Di Bernardo (1980) como de difícil análise, por se tratar de um mecanismo associado ao movimento Browniano. Herzig et al. (1970), afirmavam que as partículas presentes na água não seguiam as condições Brownianas, por serem muito pequenas.

Entretanto, é sabido que em regiões com baixa velocidade intersticial, as partículas são capturadas por difusão, estando associadas a densidade e temperatura do afluente (Libânio, 2010).

A última das ações de transporte, a hidrodinâmica, é causada pela submissão das partículas a diferentes velocidades. Adotando o centro de gravidade como referência, o fluxo do afluente e a barreira porosa do meio filtrante faz com que as extremidades das partículas fiquem sujeitas a diferentes velocidades, fazendo-as girar por caminho preferencial, que resulta na deposição (Di Bernardo, 1980).

#### (b) Aderência

Os mecanismos de aderência e transporte ocorrem concomitantemente. Define-se como forças de van der Waals as forças intermoleculares que ocorrem entre a água bruta e seus contaminantes, com o meio filtrante por onde passa. Estudos envolvendo as forças de van der Waals em líquido analisam a polaridade entre partículas a partir de integrações, que tentam considerar as constantes mudanças de posicionamento de polos devido à agitação das partículas (Da Silva, 2016).

As forças eletrostáticas são geradas nos sólidos em contato com a água, sendo-as responsáveis pelas interações de atração ou repulsão de uma partícula com a outra (Di Bernardo, 1980). Consoante as pontes de hidrogênio, de modo análogo ao que acontece entre os próprios átomos de hidrogênio da H<sub>2</sub>O, o hidrogênio presente no meio filtrante cria pontes com os átomos das moléculas da água, proporcionando aderência entre água e o material (Libânio, 2016).

#### 3.4.3 Camada biológica

Os filtros lentos, por possuírem baixas taxas de filtração, permitem a formação de uma camada com intensa atividade biológica, chamada de *schumtzdecke*. A camada, também denominada de camada biológica, é responsável pela degradação da matéria orgânica. Como a *schumtzdecke* é composta pelos microrganismos presentes na água bruta, a sua formação demanda certo tempo, o que faz com que a efetividade do filtro no início do funcionamento seja menor. O desenvolvimento da camada é propiciado pelo meio filtrante de baixa granulometria, que impede a passagem dos microrganismos e da matéria orgânica, que acaba sendo digerida (Di Bernardo; Sabogal-Paz, 2008; Di Bernardo; Brandão; Heller, 1999; Huisman; Wood, 1974).

Apesar de ser responsável pela degradação da matéria orgânica, Azevêdo, Lima e Michelin (2022), em seu artigo de revisão sistemática sobre a camada *schumtzdecke* em filtros lentos, observaram que há uma lacuna sobre a função que cada bactéria tem no tratamento. Contudo, o filo *Proteobacteria* foi o mais identificado nas comunidades microbiológicas.

#### 3.4.4 Meio filtrante

Segundo Souza (2017), o meio filtrante pode ser definido como agente que propicia a retenção de materiais suspensos presentes na água bruta. Pode ser configurado com camada simples, dupla ou tripla, com meios filtrantes geralmente preenchidos de areia, antracito e granada. Atualmente, a utilização de carvão ativado já se configura como prática das ETAs brasileiras (Crittenden et al., 2012; Ives, 1970; Libânio, 2010).

Por servir como barreira, e pelo exposto no item “*Mecanismos de Filtração: Transporte e Aderência*”, é possível inferir que as características do material utilizado para confecção do meio têm efeito direto no tratamento de água. Granulometria, porosidade, dureza e massa específica são algumas das características físicas que Libânio (2010) afirma serem decisivas na escolha do material.

Em função da granulometria de filtração, quanto menor o coeficiente de uniformidade ( $U$ ), maior o tempo de carreira e mais fácil é a penetração de partículas em suspensão no material filtrante. O  $U$  também influencia na porosidade do meio, pois quanto mais conforme são os grãos, menos espaços vazios são formados e menor porosidade tem o material (Di Bernardo; Dantas, 2005; Libânio, 2010).

Uma das demandas da técnica de filtração é a lavagem do meio filtrante, podendo ser feita por injeção de ar, água ou os dois ao mesmo tempo. Assim sendo, o conhecimento sobre a massa específica do material usado se faz necessária para a melhor execução dessa etapa, que envolve a movimentação dos grãos. Outra característica importante é a dureza, devido ao constante fluxo de partículas no meio filtrante, propiciando constante abrasão entre materiais. Quanto mais duro o material usado no meio, mais resistente, ou seja, mais durável (Di Bernardo; Dantas, 2005; Libânio, 2010).

#### 3.4.5 Estado da arte: filtração lenta no tratamento de água subterrânea

A aplicação da filtração lenta no tratamento de água subterrânea é tema de pesquisa com registro ainda na década de 80 do séc. XX. A assertiva pode ser explicada pela indicação do uso da técnica em águas com níveis de turbidez não elevados e pela comum perfuração de poços

para obtenção de água para consumo em áreas rurais (Andreoli; Sabogal-Paz, 2020; Di Bernardo; Brandão; Heller, 1999).

Hatva (1988) compilou dados de testes realizados com filtros lentos de areia em escala real e em plantas piloto, usados no tratamento de água subterrânea. No sistema de tratamento por Hatva analisado, havia a etapa de pré-tratamento, cujo objetivo era evitar que grandes quantidades de materiais, como o ferro, chegassem ao filtro lento, diminuindo assim o tempo de carreira de filtração pelo entupimento dos poros do meio filtrante. O pesquisador observou boa remoção de ferro, porém, não de maneira absoluta, justificando que tal fato se dá pela difícil decomposição de moléculas de ferro associadas com materiais orgânicos presentes na água subterrânea.

No ano de 2005, Pacini, Ingallinella e Sanguinetti (2005), avaliaram o desempenho do filtro lento em um sistema de tratamento de água subterrânea. Precedida de aerador e filtro rápido, o filtro lento serviu como etapa de polimento que garantiu regularidade nos valores de ferro e manganês da água tratada, com níveis abaixo dos estabelecidos em norma.

Segundo Vu e Wu (2022), a filtração lenta é uma técnica usual em áreas remotas, por garantir água de qualidade onde a cobertura de abastecimento de água é baixa. A remoção de fármacos foi efetiva, propiciada pela utilização de areia revestida com óxido de grafeno como meio filtrante não convencional. De modo análogo, Andreoli e Sabogal-Paz (2020), afirmam que os filtros lentos usados de forma individual em comunidades domésticas são capazes de combater o risco de exposição a microrganismos. Os pesquisadores, a fim de desenvolver a camada biológica do filtro, utilizaram água superficial, entretanto, os filtros foram alimentados com água subterrânea de forma contínua e intermitente. Os filtros de fluxo contínuo se mostraram mais eficientes que os de fluxo intermitente e a adição de água superficial ajudou na maturação da *schumtzdecke*, melhorando o desempenho dos filtros.

Souza et al. (2022), em sua revisão bibliográfica sobre o uso de filtros lentos como alternativa para tratamento de água em comunidades brasileiras isoladas, identificou um total de 12 estudos entre os anos de 2011 e 2022. O resumo dos objetivos de cada um dos trabalhos pode ser observado no Quadro 01.

Quadro 01: Objetivos gerais de estudos sobre a utilização de filtros lentos.

Autor	Título	Objetivo
Fernando César Andreoli	Filtros lentos de areia em escala domiciliar como alternativa de tratamento de águas subterrâneas com risco microbiológico em comunidades isoladas	Avaliar o desempenho do tratamento de água subterrânea com risco microbiológico através de duas configurações de FLDs (fluxo contínuo em duplicata e fluxo intermitente em duplicata).
Barbará Luiza Souza Freitas	Filtros lentos em escala domiciliar como alternativa de tratamento de águas com risco microbiológico em comunidades isoladas	Avaliar o desempenho do filtro lento em escala domiciliar (FLD) como alternativa de tratamento em comunidades isoladas do país, com o uso conjunto de pré-tratamento e pós-tratamento acessíveis.
Milina de Oliveira	Filtros lentos em escala domiciliar como alternativa de tratamento de águas com risco microbiológico em comunidades isoladas	Avaliar o desempenho dos filtros lentos domiciliares ao tratar água da chuva com presença de microrganismos ( <i>Escherichia coli</i> e PhiX-174).
Catherine Yuriko Shigeoka e colaboradores	Remoção de turbidez em filtro lento domiciliar operado em fluxo contínuo	Avaliar um FLD construído em materiais de PVC e operado continuamente, para tanto, considerouse o desempenho da unidade construída na remoção de turbidez.
Raissa Maria Cometa Mota Moruzzi e colaboradores	Desenvolvimento e avaliação de protótipo de filtro lento para tratamento de água em domicílios rurais	Desenvolvimento de um protótipo de filtro lento domiciliar com meio filtrante de espessura reduzida, com reservatório acoplado, voltados para o tratamento de água em domicílios rurais isolados.
Maria Virgínia da Conceição Albuquerque e colaboradores	Avaliação do Desempenho de Filtros Lentos como tecnologia para potabilização de água: uma revisão	Revisão sobre a aplicabilidade e eficácia da filtração lenta no tratamento de águas contaminadas, avaliando a(s) influência(s) de taxas de filtração, espessura do meio filtrante, tamanhos dos grãos de areia, bem como a maturidade microbiológica do meio filtrante na remoção de parâmetros físicoquímicos e biológicos.
Anderson de Jesus Lima	Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencional	Comparar a eficiência de filtro lento constituído de meio filtrante convencional com filtros lentos com meios filtrantes não convencionais: fibras de coco, maravalha, carvão vegetal caseiro e resíduo cerâmico.

Autor	Título	Objetivo
Deisiane Elice da Silva e colaboradores	Análise da eficiência da filtração lenta para o tratamento de água de uma nascente situada na zona rural de Passabém – MG	Analisar a eficiência de um sistema de filtração lenta para a remoção de sólidos totais, Escherichia coli e turbidez da água utilizada na Fazenda Córrego dos Pinheiros, o uso e ocupação do solo nas proximidades desta propriedade nos últimos dez anos e a percepção dos moradores vizinhos a essa sobre a qualidade da água por eles consumida.
Valter Martins Junior e colaboradores	Filtração lenta domiciliar com meios filtrantes reciclados provenientes de resíduos da construção civil	Comparar a eficiência de um filtro lento domiciliar construído com meios filtrantes inteiramente reciclados de resíduos da construção e demolição (FLD reciclado), com um filtro lento domiciliar convencional (FLD natural), avaliando características físicoquímicas e microbiológicas da água filtrada.
Helen Lubarsky e colaboradores	Biological Layer in Household Slow Sand Filters: Characterization and Evaluation of the Impact on Systems Efficiency	Investigar a composição de substâncias poliméricas extracelulares (carboidratos e proteínas), biomassa, oxigênio dissolvido e comunidade microbiana em dois tipos de FLDs e identificar uma correlação entre eles e sua eficiência.
Mariah Siebert Zipf e colaboradores	Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon	Estudar as eficiências de tratamentos simplificados para reuso de águas cinzas usando filtro lento de areia e filtro lento de resíduos de ardósia, ambas seguidas de filtros granulares de carvão ativado.
R.C Medeiros	Drinking water treatment by multistage filtration on a household scale: Efficiency and challenges	Avaliar o desempenho do HMSF (filtro multiestágio doméstico, tradução de household multistage filter) na remoção de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de água fluente com altos níveis de cor e turbidez.

Fonte: Souza et al. (2022).

Como conclusão do estudo de revisão crítica, Souza et al. (2022) afirma que os Filtros Lentos Domiciliares são eficientes para o tratamento de água, com base nas análises paramétricas de turbidez, metais pesados, compostos nitrogenados e matéria orgânica. Por conseguinte, apresentando-se como alternativa para utilização em comunidades brasileiras isoladas, ao serem estudadas as características da água bruta para instalação ideal do sistema de tratamento.

#### *a) Limpeza de Filtros Lentos*

A limpeza é uma das etapas que envolvem a operação de filtros lentos, sendo necessária pela colmatação gradativa do meio filtrante, causada pela granulometria fina da areia (Worma, 2018) ou respectivo meio filtrante, que impede o fluxo de água e influencia a eficiência do tratamento. Por conseguinte, a necessidade de limpeza do filtro pode, segundo Ladeira et al. (2005), ser determinado pela diminuição da carga hidráulica, ocasionada pela colmatação dos filtros, e/ou piora da qualidade da água tratada.

Apesar da existência da técnica de retrolavagem, citada por Michelan (2010) como um sistema simples em que a água filtrada é armazenada e posteriormente inserida nos filtros em sentido de escoamento contrário, fluidificando o meio filtrante e removendo as impurezas, Maciel (2018) afirma que a técnica não é utilizada em filtros lentos. De acordo com Maciel (2018), a limpeza de filtros lentos é feita por raspagem de 1 a 2 cm da camada superficial do meio filtrante, lavagem e consecutiva reinserção ao filtro.

Todavia, em estudo realizado por Pizzolatti (2010), a limpeza dos filtros lentos foi feita por retrolavagem e da denominada limpeza convencional, onde é realizada a raspagem da camada superficial e posteriores etapas supracitadas em estudo feito por Maciel (2018). Para a pesquisa, a espessura do leito filtrante raspado na limpeza convencional variava de 2-3 cm, superior ao mencionando por Maciel (2018), mas dentro dos limites de 2-5 cm citados por Di Bernardo e Sabogal Paz (2008). Como conclusão, Pizzolatti (2010) observou que os filtros operados com limpeza convencional tiveram melhor desempenho que os filtros em que a limpeza foi feita por retrolavagem, porém, o desempenho com as duas técnicas foi tido como satisfatório.

### **3.5 Meio Filtrante Não Convencional**

A fim de se obter melhor desempenho na remoção de contaminantes cada vez mais variados, os pesquisadores buscam materiais não convencionais para compor o meio filtrante dos seus dispositivos. Para isso, diversos estudos comparam filtros convencionais e não convencionais (Santos; Lima; Michelan, 2021; Smiech et al., 2018). A filtração lenta não convencional foi desenvolvida, a partir do revestimento da areia com ferro e matéria ferrosa corrosiva. Os pesquisadores observaram que os filtros eram eficazes, porém, após período de 230 dias, a areia com matéria ferrosa corrosiva não removia o arsênio, sendo o fenômeno chamado pelos autores de esgotamento ou saturação dos materiais (Smiech et al., 2018).

Em estudo realizado por Vu e Wu (2022), houve também o aprimoramento da areia, revestindo-a com óxido de grafeno. Ao comparar com um filtro feito com areia convencional, perceberam que a areia aprimorada tinha maior eficiência de remoção dos micropoluentes fármacos, o atenolol e atrazina, turbidez e carbono orgânico total. Os autores afirmavam que, diferentemente dos meios filtrantes convencionais, geralmente inertes aos micropoluentes, a areia revestida proporciona interação com o atenolol e atrazina, gerando a total remoção.

Contudo, nem todos os meios filtrantes não convencionais funcionam de maneira efetiva. Como exemplo, em estudo feito por Garcia-Ávila et al. (2021), os autores buscaram a substituição do meio filtrante original feito por cascalho, meio filtrante não convencional, pois o mesmo não proporcionava efetiva remoção do parâmetro turbidez.

### *3.5.1 Caracterização de materiais não convencionais*

Além de ser considerado uma ciência, a caracterização de materiais é prática comum para o entendimento do comportamento e discussão de desempenho de materiais envolvidos em estudos (De Queiroz et al., 2012). Dentre os diversos métodos de caracterização existente, podem ser citados a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Analisador de Área Superficial (BET), Difractometria de Raios X (DRX) e a Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX).

#### *a) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)*

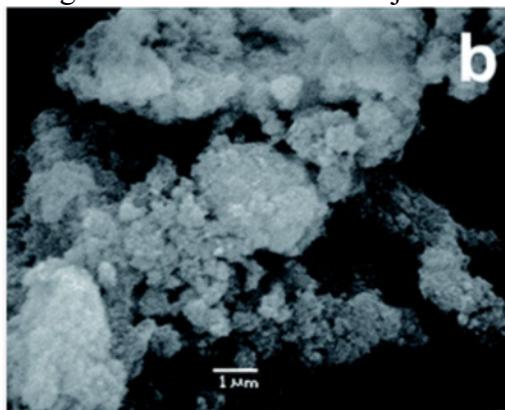
Segundo Vieira et al. (2021), em estudos que buscam caracterização de determinado material, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite a visualização da superfície de amostras ao pesquisador, como também a percepção da composição da área amostrada pelo método.

De acordo com Maliska (2011), em apostila desenvolvida com o objetivo de discorrer sobre o funcionamento e aplicações da MEV, apesar do microscópio eletrônico de varredura necessário para realização do procedimento conferir maior complexidade do que o microscópio óptico (MO), a MEV gera imagens com maior resolução, com capacidade de captar detalhes na ordem de até 1 nm, podendo o MO realizar capturas com proximidade de até 0,5  $\mu\text{m}$ .

Dado o exposto, diversos autores utilizaram a técnica de análise para a geração de imagens altamente aproximadas dos seus materiais adsorventes. O intuito dos pesquisadores foi entender a superfície de suas amostras e usar as características nas discussões dos resultados (Bavandpour et al., 2018, Núñez et al., 2019, Tong et al., 2017). Como exemplo do uso da técnica tem-se a captação de imagem realizada por Núñez et al. (2019) (Figura 05), que

permitiu verificar a presença de agregados arredondados na superfície do material adsorvente estudado - conchas de amêijoas.

Figura 05. Fotografia de conchas de amêijoas realizada pelo MEV.



Fonte: Núñez et al. (2019).

*b) Analisador de Área Superficial (BET)*

No que se refere a técnica de análise de área superficial, também conhecida pela sigla BET em homenagem aos seus desenvolvedores, Brunauer, Emmett e Edward Teller, tem-se a utilização para verificação da porosidade de materiais, por conseguinte, a sua capacidade de adsorção. Não obstante, para a realização do ensaio, o material é exposto a um gás e a análise da adsorção é medida, trazendo, então, dados que indicam o quão poroso é o material estudado (Brunauer; Emmet; Teller, 1938).

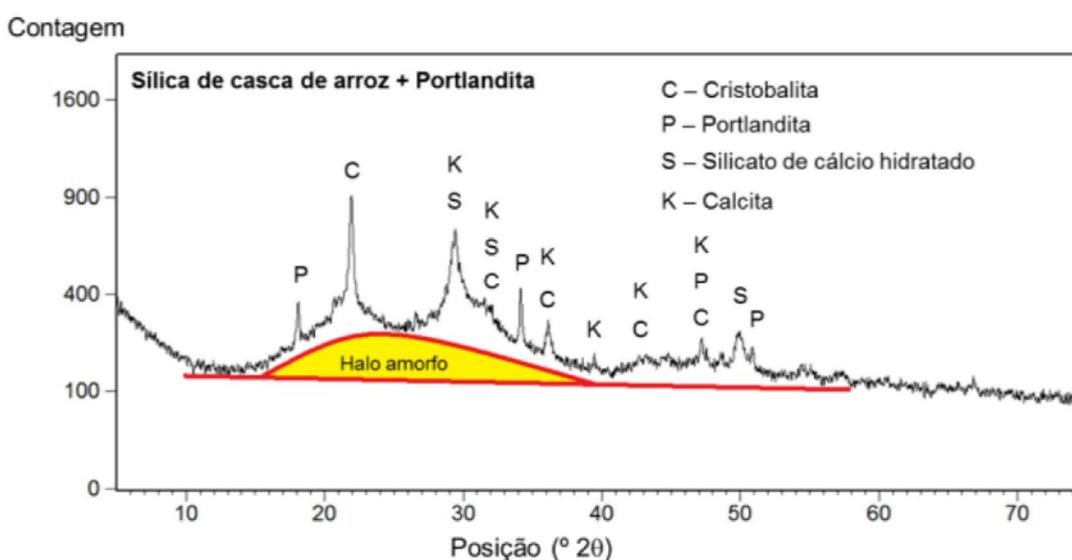
De acordo com Tian e Wu (2018), materiais porosos são utilizados em processos de separação e, estando intimamente ligados ao fenômeno de adsorção, o desempenho desse tipo de material é medido pela área de superfície interna, ou seja, pela quantidade de poros que possui. Dado o exposto, pesquisadores utilizam a técnica para avaliar a capacidade de adsorção de materiais, como o caso de Esmaeili, Tamjidi e Abed (2020), que investigaram a remoção de metais pesados de águas residuais a partir da utilização de pó de casca de caramujos.

*c) Difratomia de Raios X (DRX)*

No que concerne ao arranjo do material, a técnica de Difratomia de Raios X (DRX), surge como indicada para caracterização do material. A análise é realizada a partir da emissão de feixes de raios-X sob a amostra do material que, ao interagir com o raio emitido, de forma passiva, gera o fenômeno de difração, captado então pelo equipamento. Por conseguinte, a interpretação dos resultados do fenômeno de difração permite constituir o arranjo do material (McLachlan, 1957; Skoog; Holler; Nieman, 2009).

Silva (2020) considera a técnica relevante na caracterização de diferentes tipos de materiais, para obter informações e permitir melhor desempenho no uso. Em estudo, Hope et al. (2017), quis analisar a reatividade do cimento Portland, para tal, adicionou minerais e analisou o comportamento do material com o auxílio do DRX, obtendo a partir do difratograma (Figura 06) a informação de que mesmo após o tempo de cura, ainda havia possibilidade de ocorrer reações entre os minerais adicionados e o hidróxido de cálcio do cimento, identificado pela presença do halo amorfó.

Figura 06. Difratoograma identificando possibilidade de reatividade de minerais com cimento após período de cura (7 dias).



Fonte: Hope et al. (2017).

#### d) *Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX)*

Utilizada nos mais variados segmentos que necessitam da caracterização de materiais, a Espectrometria de Fluorescência de Raios X (FRX) permite não apenas identificar, mas também quantificar elementos presentes em uma amostra a partir de análise não destrutiva (Scapin et al., 2022). A identificação pode ser feita por cada elemento químico possuir um comprimento de onda definido, possibilitando a distinção dos elementos presentes na amostra a partir da captação pelo espectrômetro (Nazareth et al., 2023).

Dado o relevante número de estudos que utilizam a FRX, Fonseca, Mistura e Galiazzi (2022), realizaram pesquisa de revisão sobre o uso da técnica na quantificação de íons minerais em alimentos para animais. Também, a fim de explicitar a abrangência da aplicação, têm-se o exemplo do estudo realizado por Cardoso e Bottaini (2023), que analisaram a composição de artefatos arqueológicos encontrados na cidade portuguesa de Oeiras. Como exemplo de uso na

engenharia civil, Hope et al. (2017), ao verificar a composição do cimento Portland para identificar sua provável reatividade com minerais, pode-se observar os dados na Tabela 01.

Tabela 01. Composição química por fluorescência de raios-X das adições minerais.

Adição Minerais		Composição química (%)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MgO
Ativas	Sílica de casca de arroz	92,97	2,89	0,05	0,45	1,53	1,63	–
	Sílica ativa	94,91	2,27	0,05	0,20	0,97	1,56	
	Metacaulim	42,36	52,96	1,79	0,07		1,50	
Inertes	Filter calcário	2,97	1,73	0,44	78,03	0,31	1,21	15,06
	Filter quartzoso	95,79	2,88				1,27	

Fonte: Adaptado Hope et al. (2017).

### 3.6 Moluscos Bivalves

#### 3.6.1 Características gerais

De acordo com Purchon (1968), os moluscos bivalves passaram por processo evolutivo que resultou na perda de cabeça e surgimento de ligação entre a concha (parte externa) e a parte interior do molusco. Os bivalves possuem estruturas complexas, composto por coração e lâminas branquiais, responsáveis pela respiração e capazes de filtrar o alimento dos moluscos (Alves, 2016).

O termo bivalve advém de o fato desse tipo de molusco possuir duas conchas conectadas, sendo-as fortemente ricas em carbonato de cálcio. São amplamente usados como bioindicadores de poluição hídrica, por estarem sujeito a bioacumulação, fator propiciado pelo modo como os moluscos se alimentam. Apesar das lâminas branquiais servirem como filtro na ingestão do alimento, alguns materiais não são digeridos pelo sistema dos moluscos, causando risco a toda sua cadeia trófica. As dimensões dos alimentos dos bivalves variam entre 1 e 10 mm (diâmetro), sendo composto por bactérias, microalgas e materiais orgânicos decompostos (Martins, 2018; Alves, 2016; Ferreira; Magalhães, 2004; Gosling, 1992).

Apesar dos riscos supracitados, os bivalves são mundialmente produzidos para indústria alimentícia. De acordo com Sackton (2018), entre os anos de 2010 e 2015, a média anual do uso desse tipo de molusco na alimentação humana foi de cerca de 15 milhões de toneladas, com quase 90% desse montante sendo produzido, ou seja, advindos da criação planejada, não natural.

### 3.6.2 Malacocultura

A malacocultura, como é denominada a produção de moluscos, configura-se como segmento de grande relevância no cenário mundial da pesca (Marenzi; Castilho-Westphal, 2011). Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) publicados no ano de 2020, a malacocultura em água salgada produziu cerca de 17,34 milhões de toneladas de moluscos no ano de 2018 (FAO, 2020).

Fonte de proteína animal, a malacocultura possui grande relevância em determinadas regiões (Abrunhosa, 2011). No Brasil, segundo dados do IBGE (2022), a produção anual de ostras, vieiras e mexilhões em 2014 foi superior a 22 mil toneladas, tendo como destaque o estado de Santa Catarina, com cerca de 21,6 mil toneladas. Dados de 2021 mostram que a produção do país reduziu para aproximadamente 10,9 mil toneladas, com o Pará se destacando na região Norte (53,109) e Alagoas na região Nordeste. Vale destacar o significativo crescimento da produção nos estados do Maranhão, Paraíba, Paraná e Sergipe.

Apesar de parecer expressiva, o Brasil possui potencial de produção muito maior (Quadro 02). Em território nacional, há também o cultivo de outros moluscos, como é o caso da *Mytella charruana*, *M. guyanensis* e *M. falcata*, conhecidas como sururu, bacuru e bacucu, respectivamente. Como resultado da grande produção, o estado de Santa Catarina tem enfrentado problemas ambientais relacionados ao descarte dos resíduos, em especial as conchas, por se tratar de um sistema linear, onde há exploração do recurso sem utilização do resíduo gerado. Um problema ambiental permanente é resultante da produção de resíduos das atividades de mitilicultura na faixa litorânea do estado de Santa Catarina (Gonçalves; Fonseca, 2019; Rosa, 1997; Silva, 2007).

Quadro 02: Produção de aquicultura – ostras, vieiras e mexilhões (T/ano).

Unidade da Federação	Ano								
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Pará	8,3	42,6	38,2	41,8	55,7	39,8	48,8	48,9	53,1
Maranhão	-	6,0	6,2	27,3	29,0	24,2	21,6	23,0	23,5
Paraíba	0,2	-	-	-	-	-	20,6	20,0	22,0
Alagoas	13,6	61,2	51,7	41,2	50,4	55,2	50,8	51,2	53,9
Sergipe	-	-	1,0	0,7	3,6	2,1	2,0	5,5	5,2
Bahia	64,4	71,3	60,7	64,0	42,9	51,2	25,6	31,9	33,1
R. Janeiro	92,8	100,7	75,0	79,3	75,7	65,8	57,6	38,5	29,6
São Paulo	88,3	98,5	113,2	113,2	69,1	96,7	66,4	43,7	71,5
Paraná	266,3	48,5	55,5	68,9	77,4	77,5	171,5	185,2	214,6
S. Catarina	18816,6	21654,0	20662,1	20392,2	20537,5	13789,8	14807,1	15334,0	10401,6
Total	19350,5	22082,8	21063,7	20828,7	20941,4	14202,3	15272,0	15781,9	10908,2

Fonte: Adaptado IBGE (2022).

### 3.6.3 Cultura do sururu (*Mytella guyanensis*)

O *Mytella guyanensis*, conhecido como sururu, é um molusco bivalve cujo *habitat* natural são as regiões de manguezais, vivendo fixos em rochas ou raízes (Silva, 2007). Costa (2021) considera o comércio de Sururu, molusco que correspondeu a 15% do total dos moluscos extraídos no Brasil (BRASIL, 2011), como um sistema linear, em que, após a remoção do Sururu, a concha é descartada. Esse sistema traz diversos problemas ambientais e econômicos para a população que vivem próximos às áreas de extração e dependem do molusco.

Exemplificando, grande parte da exploração de sururu no estado de Alagoas é realizada de forma artesanal, com a população dependente da economia sofrendo com a variação de presença do molusco nos corpos hídricos. Estima-se que para se produzir 1 kg de carne de sururu sejam necessários de 8 a 20kg do molusco *in natura*, ou seja, a porcentagem de aproveitamento final varia entre 5 e 12,5 %, gerando muito resíduo. Ademais, as comunidades que circundam a laguna Mundaú, na capital do estado de Alagoas, sofrem com problemas sanitários causados pela deposição das conchas, resíduo da produção (SEMTUR, 2017; Coutinho, 2014).

De acordo com Alves (2016), o acúmulo das conchas sururu, provocado pelo descarte incorreto, pode ser encarado como risco socioambiental. Em estudo realizado no município sergipano de Nossa Senhora do Socorro, a autora identificou riscos biológicos, químicos e de acidentes que podem ser gerados a partir do descarte incorreto, como observado no Quadro 03.

Quadro 03: Possíveis riscos gerados a partir do descarte incorreto de conchas de sururu.

<b>Riscos</b>	<b>Agentes</b>	<b>Doenças/Complicações</b>
<b>Biológicos</b>	Vírus, bactérias, bacilos, protozoários, fungos.	Tétano; Hepatite B; Leishmaniose; Leishmaniose visceral (calazar); Leptospirose; Dengue; Febre Amarela; Febre recorrente; Filariose; Diarreia.
<b>Químicos</b>	Substâncias, compostos ou líquidos percolados.	Contaminação do solo e da água, geração de odor forte no local.
<b>De acidente</b>	Armazenamento inadequado das conchas Lixo doméstico Animais peçonhentos	Perfurações, cortes, picadas, lesões agudas.

Fonte: Alves (2016).

### 3.6.4 Potenciais usos das conchas

A percepção do valor econômico dos resíduos sólidos gerados no meio de produção, dialogam com a ideia de desenvolvimento sustentável, ademais, o conceito de economia circular engloba as duas afirmativas. Além de ser o inverso da economia linear, que apenas transforma recurso natural em resíduo, a circular busca fins alternativos para os materiais usados no sistema de produção. Os princípios desse tipo de sistema é verificar a eficiência de produção, com intuito de diminuir os impactos gerados pelo descarte de materiais e o aumento de capital (Kirchher; Reike; Hekkert, 2017; Murray; Skene; Haynes, 2017 Macarthur, 2013).

Dado o exposto, e entendendo que a produção de moluscos segue premissas de sistema linear, diversos pesquisadores buscam alternativas de destinação das conchas descartadas no processo. Um dos destinos estudados é o da utilização das conchas na fabricação de medicamentos, com exemplos de fármacos contra doenças hepáticas e como suplementação de gestantes, a fim de combater a pré-eclâmpsia. O seu uso também pode ser associado à alimentação animal, servindo como alimento para animais não ruminantes, como é o caso da patente elaborada através de pesquisas da Universidade de Londrina no Paraná e da alimentação de codornas pela Universidade Federal de Alagoas. Todos os usos citados estão relacionados com a grande quantidade carbonato de cálcio presente nas conchas (Mata et al., 2019; Santos, 2019; Mu, 2016).

Também amparados pela grande porcentagem de carbonato de cálcio, as conchas são utilizadas por agrônomos como alternativa para correção de solo. Na engenharia civil, há pesquisas verificando a possibilidade de usá-las na confecção de tijolos solo-cimento. Para isso, Costa (2021) adicionou conchas trituradas e peneiradas com granulometria próxima ao do solo escolhido na produção, substituindo o solo pelas conchas em diferentes porcentagens na composição solo-cimento final (5%, 10% e 25%). Como resultado, o pesquisador afirmou que, apesar de apresentarem resistências à compressão menores se comparado aos tijolos sem adição de conchas, todos os tijolos testados estavam dentro dos limites exigidos em norma.

Outra característica do resíduo é a sua capacidade de adsorção. De acordo com Cuevas (2011), a adsorção pode ser entendida como o processo em que um material sólido adere moléculas de outro material líquido ou gasoso. Baseado nessa premissa, Quintela (2020) testou a capacidade de adsorção da concha de sururu *in natura*, calcinada e pirolisada, na remoção de corantes em meios aquosos, visto que é constante a poluição de mananciais pela presença desse material. As análises realizadas pelo pesquisador possibilitaram concluir que é viável a utilização do material na remoção desses poluentes, ainda que em sua forma *in natura*.

A capacidade de adsorção das conchas é, também, objeto de estudo em relação a remoção de metais, pois a presença dessas substâncias, principalmente em águas subterrâneas, traz risco

para saúde pública. Estudos com a utilização de conchas em meio aquoso mostraram ser eficazes na remoção de mercúrio (64%), cádmio (75%) e chumbo (Billah et al., 2022; Monteiro et al., 2016).

### 3.7 Parâmetros de Potabilidade

Consoante aos parâmetros de qualidade de água, faz-se necessário o entendimento da palavra potabilidade. De acordo com o Oxford Languages (2023), a palavra potabilidade é uma característica de tudo que é potável, que tem como definição “em que as substâncias tóxicas e os fatores e organismos patogênicos têm níveis seguros ou aceitáveis para consumo humano, ou foram reduzidos a isso e é, portanto, saudável”.

Apesar da OMS fornecer guias com metodologias aos países para garantir a saúde dos usuários, os níveis de segurança, ou seja, a permissividade nos níveis de cada parâmetro, variam de um país para o outro (Bolonhez; Motta; Soares, 2017). Há também constante preocupação com a identificação e controle de novos contaminantes, resultando em alterações das legislações vigentes, como é o caso do controle feito pela *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). A EPA lança regularmente a *Contaminant Candidate List* (CCL), lista com os poluentes que aparecem com frequência nas águas usadas no abastecimento, mas que não estão regulamentados em leis (EPA, 2023).

Como exemplo dos diferentes níveis de segurança permitidos em cada país, o Quadro 04 apresenta os valores trazidos em lei portuguesa e brasileira de potabilidade por causa da compatibilidade do idioma raiz, para alguns parâmetros. Ademais, não só os níveis variam, como a periodicidade das análises e suas unidades de medida (BRASIL, 2021b; PORTUGAL, 2007).

Quadro 04: Níveis de segurança permitidos em leis.

Parâmetro	Portugal		Brasil	
	Valor Paramétrico	Unidade	Valor Máximo Permitido (VMP)	Unidade
Alumínio	200	$\mu\text{g/L Al}$	0,2	mg/L
Cor	20	mg/L <i>PtCo</i>	15	uH
Dureza Total	$\geq 150$ e $\leq 500$	mg/L $\text{CaCO}_3$	300	mg/L
<i>pH</i>	$\geq 6,5$ e $\leq 9,0$	Unidades de <i>pH</i>	$\geq 6,0$ e $\leq 9,0$	Unidades de <i>pH</i>
Ferro	200	$\mu\text{g/L Fe}$	0,3	mg/L

Turbidez	4	UNT	5	uT
<i>Escherichia Coli</i>	0	Número/100 mL	0	Ausência em 100 mL

Fonte: Adaptado Brasil (2021) e Portugal (2007).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Instalação Hidráulica

Para a realização da pesquisa, foi utilizado a instalação hidráulica construída por Lima (2020), que é abastecida a partir da captação de água subterrânea proveniente de poço tubular intitulado de Poço 2, que possui 20 m de profundidade, com vazão de 9 m<sup>3</sup>/h, construído para fins administrativos da UFS (Damasceno, 2010). A água do poço é aduzida para um reservatório semienterrado de 10,3 m de comprimento por 6,3 m de largura e 1,5 m de altura, utilizado pela UFS, mas, para uso na presente pesquisa, é posteriormente transportada para um reservatório de 1.000 litros, localizado no Laboratório de Hidráulica (LABHID) do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) (Figura 07).

Figura 07: Reservatório e sistema de recirculação de água.



Fonte: Autor (2023).

Para garantir a fidedignidade das características da água, o sistema detém um bombeamento que possibilita a recirculação da água no reservatório. Desse modo, nos dias em que eram realizados os ensaios, o sistema era acionado manualmente, fazendo com que houvesse a homogeneização da água, tanto para as análises de água bruta, quanto para o seu posterior tratamento.

## 4.2 Meio Filtrante

Os meios filtrantes do sistema piloto foram preenchidos com material convencional e não convencional. As conchas de sururu (*Mytella guyanensis*) configuraram-se como o material não convencional escolhido e, enquanto material convencional, fez-se o uso de areia.

### 4.2.1 Areia

A areia utilizada como meio filtrante foi adquirida em loja de material de construção, isenta de resíduos (visualmente). Para caracterização do material, foi realizado o ensaio granulométrico seguindo metodologia estabelecida pela NBR NM 248 (ABNT, 2003), que dispõe sobre a determinação da composição granulométrica de agregados.

Inicialmente, o material foi quarteado com o auxílio de repartidor (Figura 08), a fim de se obter uma amostra menor e representativa - homogênea. Após passar sucessivas vezes pelo repartidor, a areia foi colocada em estufa por período de 48 h, até constância de massa, à temperatura de 105° C ( $\pm 5$  ° C). Por conseguinte, ao ser resfriada em temperatura ambiente, a amostra seca da areia foi pesada em balança com precisão maior que 0,1% da massa mínima a ser usada no ensaio (1 kg), podendo então ser feito o procedimento de peneiramento.

Figura 08: Repartidor de areia utilizado e areia pós quarteamento.



Fonte: Autor (2023).

O peneiramento foi realizado com o uso de agitador mecânico do Laboratório de Geotecnia e Pavimentação (GEOPAV)/UFS. Foram utilizadas as peneiras da série normal: 76,2 mm, 38 mm, 19 mm, 9,52 mm, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 590  $\mu\text{m}$ , 300  $\mu\text{m}$  e 150  $\mu\text{m}$ , empilhadas de forma sequencial, com a maior abertura no topo e menor na base, e encaixado um fundo apropriado à série para captar o material passante da última peneira. Ao colocar o material sobre as peneiras, foi possível perceber a não retenção de material nas três primeiras malhas (76,2 mm, 38 mm e 19 mm), desse modo, elas foram retiradas, o agitador foi então ligado e a amostra peneirada durante 10 minutos (Figura 09).

Figura 09: Série de peneiras usada disposta no agitador mecânico.



Fonte: Autor (2023).

Com o auxílio de balança de precisão, as massas retidas em cada uma das peneiras foram aferidas. Comparando-as com a massa seca total utilizada no ensaio, as porcentagens passantes e retidas puderam ser calculadas com o uso das Equações 1 e 2, para a confecção da curva granulométrica, permitindo a identificação da porcentagem de argila, silte, areia fina, areia média e areia grossa do material.

$$Pp = \frac{M_{total} - MR}{M_{total}} \times 100 \quad (1)$$

$$Pr = 100 - Pp \quad (2)$$

onde  $Pp$  é a porcentagem passante (%),  $M_{total}$  a massa total seca usada no ensaio (g),  $MR$  a massa retida acumulada (g) e  $Pr$  a porcentagem retida (%).

A partir da curva e respectivas porcentagens de material passante, também foi possível definir o tamanho efetivo dos grãos ( $d_{10}$ ) e realizar o cálculo do coeficiente de uniformidade ( $U$ ) da areia a partir da Equação 3.

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (3)$$

onde  $U$  é o coeficiente de uniformidade (%),  $d_{60}$  o diâmetro do grão passante em 60% da massa total usada no ensaio (mm) e  $d_{10}$  o diâmetro do grão passante em 10% da massa total usada no ensaio (mm).

#### 4.2.2 Conchas de sururu

As conchas de sururu usadas como meio filtrante não convencional foram adquiridas de marisqueiros do povoado sergipano Ponta dos Mangues, situado no município Pacatuba/SE, antes de serem descartadas, como é realizado no modelo de produção linear. A partir do cruzamento de dados georreferenciados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), foi possível observar que parte do povoado onde é realizada a extração das conchas está inserido na Reserva Biológica de Santa Isabel (Figura 10).

Figura 10: Geolocalização do povoado Ponta dos Mangues.



Fonte: IBGE (2021) e ICMBio (2015), adaptado.

Após a coleta, com o intuito de realizar inativação de organismos externos aderidos às conchas, antes de serem usadas nos filtros, as conchas foram submetidas a dois tipos de tratamento de higienização diferentes: exposição a Banho de Sol (BS) e o outro a Banho Ultrassônico (BU).

*Banho de Sol (BS):*

O tratamento BS consistiu na exposição das conchas à radiação solar por período de 24h, (12h/dia em dois dias), com o objetivo de inativar possíveis microrganismos patogênicos a partir do aumento da temperatura (Figura 11). Antes de serem expostas, as conchas passaram por lavagem prévia em água corrente e potável, fornecida pela Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO.

Figura 11: Conchas submetidas ao BS.



Fonte: Autor (2023).

*Banho Ultrassônico (BU):*

O BU foi feito com o auxílio do equipamento USC-1400, fornecido pelo Departamento de Engenharia Química (DEQ)/UFS para utilização no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA). De acordo com Rana, Parmar e Anita Rana (2017), os banhos ultrassônicos podem proporcionar a inativação microbiana sem a necessidade de elevação da temperatura e, ao mesmo tempo, a partir da cavitação provocada pelas ondas geradas pelo equipamento, a quebra de partículas de aglomerados pelo cisalhamento. Assim sendo, as conchas foram submersas em água destilada por período de 5 minutos, à frequência fixa de 40 kHz (Figura 12).

Figura 12: Conchas submetidas ao BU.



Fonte: Autor (2023).

(c) *Absorção de Água (a)*

A fim de estimar a capacidade de absorção do material, foram realizados ensaios adaptados do DNER-ME 195/1997 com as conchas que passaram pelos dois tipos de tratamento: BS e BU. Para isso, as conchas foram secas em estufa à temperatura aproximada de 105° C durante 24 h e, após resfriamento passaram por pesagem da massa do material seco (A) e então, submersas em 500 mL de água destilada por período de 24 h. Com a pesagem das novas massas de material saturado (B), os cálculos das porcentagens de absorção ocorreram através da Equação 4:

$$a = \frac{(B-A)}{B} \times 100 \quad (4)$$

(d) *Caracterização Analítica das Conchas*

Em razão da alta porcentagem de carbonato de cálcio presente no material, segundo literatura, as conchas foram submetidas a testes de avaliação do parâmetro dureza, com o objetivo de identificar as possíveis alterações na qualidade da água. Os ensaios foram realizados durante o período de 21 dias, do dia 29 de novembro de 2022 ao dia 19 de dezembro de 2022.

As análises foram feitas com 50 g de cada tipo de conchas (BS e BU). Cada material permaneceu submerso, em repouso, em 400 mL de água destilada por 3 dias, período denominado de campanha e posteriormente verificado os níveis de dureza na água, repetindo-se 6 vezes, com substituição da água destilada e permanência das mesmas amostras de conchas (Rocha Júnior; Michelin; Rosa, 2023). Foram utilizados 3 dias para possível extrapolação dos resultados. Para observar o possível aumento de carbonato de cálcio conferido a água, a dureza da água destilada sem contato com as conchas também foi calculada, a fim de atuar como

amostra controle. Ademais, foram analisados os parâmetros de cor aparente, turbidez, pH e temperatura das amostras, a partir dos métodos citados no item 3.5.

(e) *Determinação de dimensões*

Com o intuito de caracterizar bidimensionalmente as conchas, aleatoriamente, uma amostra de 100 exemplares teve comprimento e largura mensurados com o auxílio de paquímetro digital (Figura 13). Após medição, os resultados foram analisados separadamente (largura e altura), a partir do cálculo de valores médios e observação de valores máximos e mínimos.

Figura 13: Método de determinação de dimensões das conchas.



Fonte: Autor (2023).

f) *Microscopia Eletrônica De Varredura - MEV*

Analisou-se duas amostras antes do início do processo de filtração, uma que passou por tratamento BS e outra por BU. A microscopia eletrônica de varredura foi realizada em laboratórios do Núcleo Regional de Competência em Petróleo, Gás e Biocombustíveis de Sergipe (NUPEG) localizado na UFS.

As duas amostras foram trituradas com o auxílio de liquidificador antes das análises. Com o intuito de conferir melhor condutividade durante a microscopia, as conchas foram revestidas com prata, após serem posicionadas em superfícies de carbono (Figura 14). Metalizadas as amostras, o material foi inserido no microscópio para realização da varredura, sendo utilizadas magnificações de 500x, 1000x, 1500x e 2000x.

Figura 14. Amostras de conchas revestidas com prata para realização do MEV.



Fonte: Autor (2023).

*g) Análise de Área Superficial (BET)*

A Análise de Área Superficial (BET) foi realizada no Condomínio de Laboratórios Multiusuário do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais da UFS (CLMDCEM/UFS). Foram analisadas duas amostras de conchas antes do início do processo de filtração, uma que passou por tratamento BS e outra por BU, com o intuito de determinar a área superficial das conchas e o tamanho dos poros.

Para a execução foi utilizado o equipamento: NOVA 1000e, Surface Area and Pore Size Analyzer. Nas amostras de 500 mg foi feita degasagem à 110° C por 3 h. *Spread points* 0,05 a 0,99 com 30 pontos adsorção, em atmosfera de N<sub>2</sub> e 77 K.

*h) Difratomia de Raios X (DRX)*

A Difratomia de Raios X (DRX) foi realizada no Condomínio de Laboratórios Multiusuário do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais da UFS (CLMDCEM/UFS). Foram utilizadas duas amostras, uma que passou por tratamento BS e outra por tratamento BU, a fim de determinar os componentes das fases cristalinas das conchas, antes de serem inseridas ao filtro.

Para a execução foi utilizado o equipamento: XRD-6000, Shimadzu. As amostras foram pulverizadas e analisadas sob ângulo 2 $\theta$  entre 5° e 100°, com variação de 2°/min.

### 4.3 Camada Suporte

A camada suporte dos filtros foi preenchida com três tipos de britas adquiridas em loja de material de construção. Antes de serem utilizadas, as britas passaram por limpeza prévia com água potável, até que fosse identificada, visualmente, a remoção de material esbranquiçado que conferia cor e turbidez à água. As britas foram então medidas com auxílio de paquímetro digital, a fim de corroborar os seus enquadramentos quanto à graduação (Figura 15). Trinta exemplares

de cada um dos tipos foram medidos e, a partir da média aritmética dos valores, as britas foram classificadas.

Figura 15: Aferição de graduação de britas.



Fonte: Autor (2023).

De maneira análoga à caracterização realizada com as conchas do meio filtrante, foram realizados ensaios com os três tipos de brita identificados. O objetivo da análise era compreender se uma possível composição calcária que alguns tipos de britas possuem, poderia conferir dureza às amostras, sendo o calcário formado por carbonato de cálcio e/ou magnésio (Gomes, 2002). A fim de comparar os resultados com os alcançados a partir das análises das conchas, foi utilizada a mesma metodologia do item 4.2.2 (b), ou seja, os mesmos parâmetros e quantidades foram usadas, entre os dias 21 de fevereiro a 14 de março de 2023.

#### 4.4 Caracterização e dados operacionais do sistema piloto: filtros

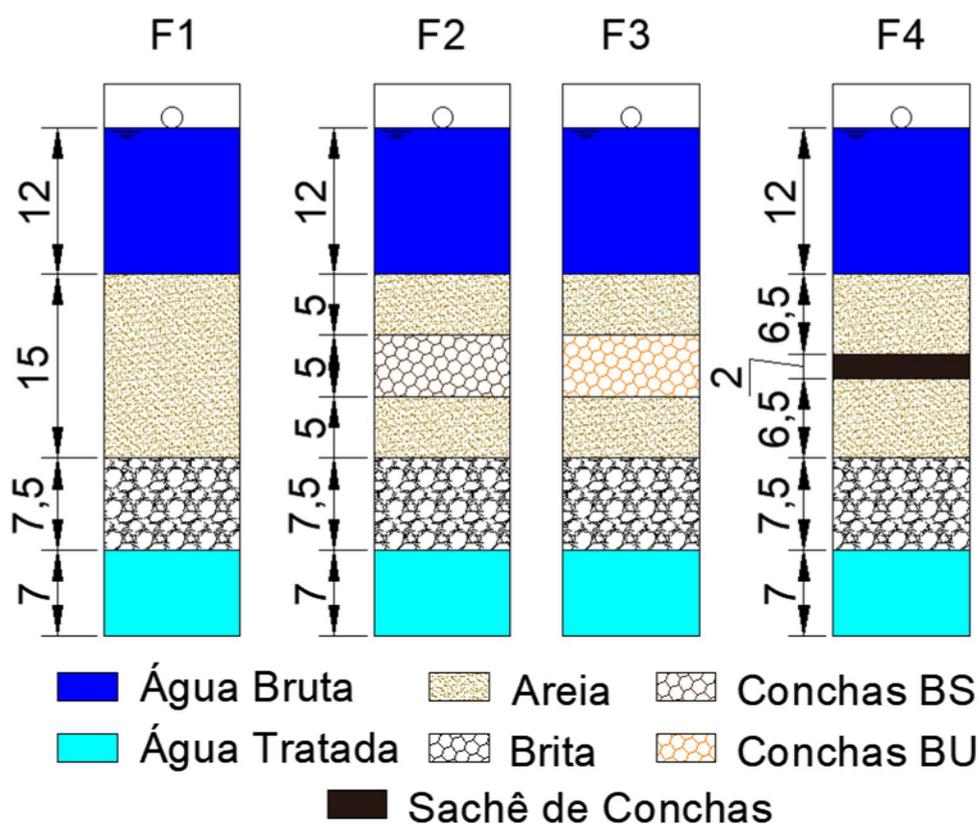
O tratamento da água bruta advinda do reservatório de 1000 L ocorreu a partir de quatro filtros instalados no LABHID/UFS, confeccionados em vidro de 4 mm de espessura, com 11 x 11 x 45 cm de dimensões internas (comprimento, largura e altura, respectivamente). O sentido do fluxo de água nos filtros foi descendente. As tubulações que conduziram água do reservatório para os filtros eram do Policloreto de Vinila (PVC). A água, após passar pela camada de 15 cm de meio filtrante e 7,5 cm de camada suporte, chegava ao fundo falso de 7 cm, de onde eram captadas as amostras para análise de água tratada.

Durante a operação, uma lâmina de até 12 cm de água se formava na superfície de cada filtro, o que mantinha os filtros operando com carga de água acima do meio filtrante. Essa carga hidráulica passou a existir, após a formação da camada *schumtzdecke*. Não houve acompanhamento de carga piezométrica ao longo do experimento, dessa forma, a limpeza dos

filtros foi realizada à medida que se percebeu a redução significativa da vazão de água tratada, concomitante à observação de aumento da turbidez.

Os quatro filtros foram preenchidos com composições diferentes de meios filtrantes. O primeiro deles, chamado de F1, foi totalmente preenchido com areia, representando um filtro convencional. O segundo, F2, foi preenchido com camada de areia tipo sanduíche para confinar as conchas inteiras tratadas a partir do BS, confinadas com o auxílio de manta geotêxtil não tecida do tipo bidim. O terceiro filtro, F3, também possuía como meio filtrante camadas de areia intercaladas por conchas inteiras, todavia, as conchas haviam passado pelo tratamento por BU (Figura 16). Entre o meio filtrante e camada suporte de todos os filtros foi colocada uma manta geotêxtil para evitar mistura do material. Do mesmo modo, nos filtros F2 e F3 foi adicionado manta entre as camadas de areia e concha para proporcionar confinamento das conchas.

Figura 16: Configuração dos filtros (dimensões em centímetros).



Fonte: Autor (2024).

Ademais, para analisar as possíveis variações de desempenho quanto ao formato e volume de material a ser utilizado, parte das conchas tratadas a partir do BS foram trituradas no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA) do DEC/UFS, com o auxílio de um liquidificador (Figura 17), para posterior utilização no quarto filtro, F4. A escolha pelo BS foi dada por ser uma técnica mais simples que a por BU. As conchas foram confinadas em manta

bidim, no que foi chamado de sachê de conchas (confinamento), que pode ser observado na Figura 18. Este filtro apresentou duas camadas de areia: uma abaixo do sachê de conchas e outra acima deste.

Figura 17: Conchas submetidas ao BS trituradas.



Fonte: Autor (2023).

Figura 18: Sachê de conchas trituradas.



Fonte: Autor (2023).

Nos filtros F2 e F3 foram usados, aproximadamente, 200 g de conchas inteiras, conferindo espessura aproximada de 5 cm na camada filtrante. No filtro F4 foram inseridos 150 g de concha triturada, fazendo com que o sachê possuísse dimensões aproximadas de 11x11x2 cm, correspondente à mesma seção transversal do filtro (11x11 cm). A ideia era preencher com o sachê toda a seção do filtro, de modo a não gerar caminho preferencial da água, a não ser passando pelas conchas trituradas. As conchas, nos três filtros F2, F3 e F4, foram posicionadas exatamente no meio da camada filtrante, ou seja, 5 cm do início da camada filtrante no caso do F2 e F3, e 6,5 cm do F4 (Figura 19).

Figura 19: Filtros do sistema piloto recheados com meio filtrante.



Fonte: Autor (2023).

Para a taxa de filtração, buscou-se a operação com taxa de filtração constante, de cerca de  $4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ . No entanto, o ajuste da vazão foi realizado de forma manual, a partir da regulação da abertura dos registros de saída, o que gerava variação de taxa entre as aferições de vazão. As aferições das vazões, foram realizadas 3 vezes por semana, com a cronometragem dos tempos necessários para o enchimento de becker graduado de 500 mL, sendo observado o tempo a cada 50 mL, com o objetivo de verificar a constância do fluxo.

Levando em consideração a seção transversal característica do filtro e taxa preestabelecida, a vazão necessária pode ser calculada pela Equação 5:

$$t = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

onde  $t$  é a taxa de filtração  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ ,  $Q$  é a vazão em  $\text{m}^3/\text{dia}$  e  $A$  como a seção de transversal dos filtros em  $\text{m}^2$ .

#### 4.5 Análises de Água Bruta e Tratada

As análises com parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram realizadas no SAMA/UFS e no Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS), detalhados de acordo com o Quadro 05. O tempo de funcionamento dos filtros e realização das análises ocorreu por 10 meses, com início no mês de fevereiro e fim no mês de dezembro de 2023, a fim

de se obter amostragem representativa para realização de cálculos estatísticos e observar possíveis variações da qualidade da água nas diferentes estações do ano.

Quadro 05: Quadro resumo de análises.

Parâmetro	Periodicidade	Realização de Ensaio	Método	Equipamento
Cor Aparente (uH)	2 vezes por semana	SAMA/UFS	Espectrofotometria	Multiparamétrico DR/890
Turbidez (uT)	2 vezes por semana	SAMA/UFS	Nefelométrico	Multiparamétrico DR/890
pH	2 vezes por semana	SAMA/UFS	Potenciômetro	pHmetro
Temperatura (°C)	2 vezes por semana	SAMA/UFS	Potenciômetro	Sensor de Temperatura
Dureza (mg/L)	2 vezes por semana	SAMA/UFS	(Santos e Souza, 2013)	Titulação ácido etilendiamino tetra-acético (EDTA)
Alumínio (mg/L - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1 vez por mês	ITPS	Método 8012 (HACH, 2018)	Multiparamétrico DR/890
Ferro Total (mg/L)	1 vez por mês	ITPS	3120 (SMEWW, 2017)	Espectrofotometria de Emissão Atômica por Plasma Indutivamente Acoplado
Coliformes Totais (NMP/100 mL)*	1 vez por mês	ITPS	9221B (SMEWW, 2017)	Tubos múltiplos
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)*	1 vez por mês	ITPS	9221E (SMEWW, 2017)	Tubos múltiplos

\* NMP/100: número mais provável por 100 mL.

Fonte: Autor (2023).

#### **4.6 Limpeza dos Filtros**

A limpeza dos filtros foi feita com uso da técnica de raspagem. Para observar o tempo necessário para realização do procedimento, a verificação da vazão de água na saída dos filtros era feita 3 dias por semana, a fim de garantir aproximação à taxa estabelecida.

A ação foi realizada duas vezes, com a espessura de material raspado na primeira limpeza estabelecida a partir da visualização do leito filtrante, proporcionada pelo material com que os filtros foram confeccionados, vidro, sendo removidos 2,5 cm do material com tonalidade mais escura. Com o tempo de duração da carreira de filtração após a primeira limpeza tendo sido menor que a primeira, para a segunda raspagem foram retirados 5,0 cm do leito para limpeza.

Após raspagem, a areia foi lavada para remoção de impurezas e reinserida nos filtros. A pequena porcentagem de areia perdida durante o processo de lavagem foi substituída por areia ainda não utilizada, mas com mesma origem das inseridas inicialmente. Todo o processo de lavagem foi cronometrado, com o objetivo de verificar o tempo gasto no processo de limpeza.

#### **4.7 Análise Estatística**

A análise estatística foi processada após a compilação dos dados dos ensaios de cada parâmetro realizado com a água bruta e tratada durante os 10 meses de funcionamento do sistema. Por conseguinte, foi utilizado o teste não paramétrico de Wilcoxon, para avaliar a existência de diferenças significativas. Para tal, foi adotado o intervalo de confiança de 95% e  $\alpha = 0,05$ .

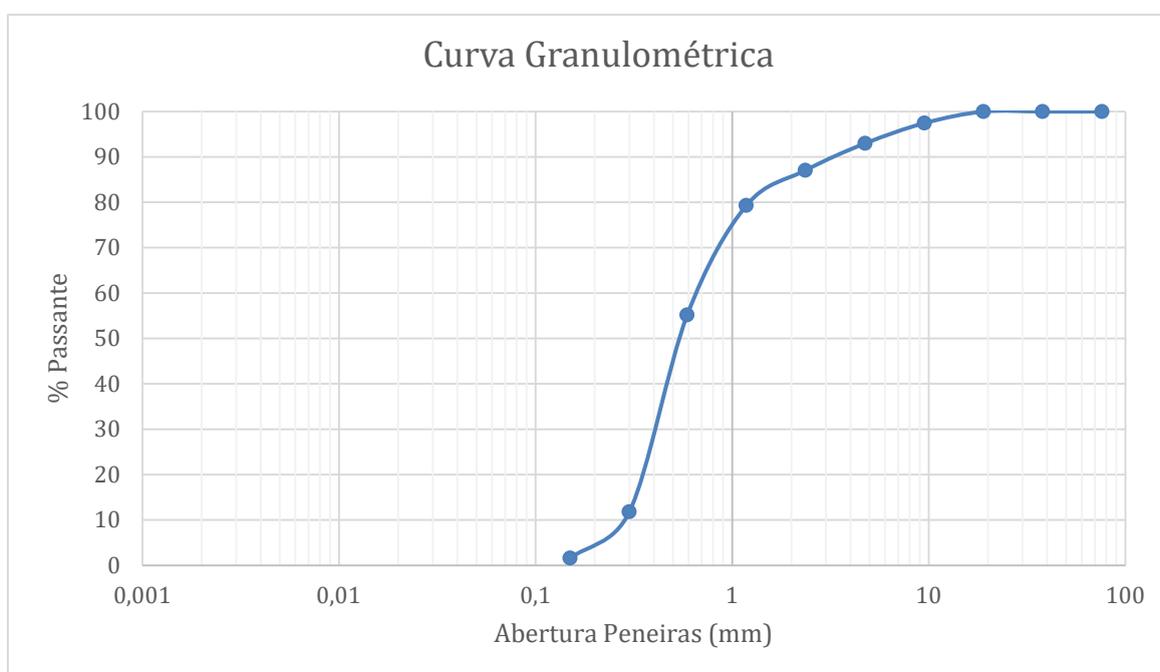
## 5 RESULTADOS

### 5.1 Caracterização do Meio Filtrante

#### 5.1.1 Areia

A partir do ensaio granulométrico realizado no GEOPAV/UFS, foi possível traçar a curva granulométrica da areia usada nos filtros pilotos (Figura 20). Os dados utilizados na confecção podem ser observados no Apêndice A. Segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003), a areia deve possuir diâmetros menores que 4,75 mm, o que pode ser observado como característica do material após o ensaio granulométrico, pois apenas 7,02 % da massa total ficou retida na peneira com 4,75 mm de abertura.

Figura 20: Curva granulométrica da areia utilizada no meio filtrante.



Fonte: Autor (2024).

Por meio da curva granulométrica, pode-se extrair informações, a exemplo do coeficiente de uniformidade ( $U$ ) foi calculado a partir da interpolação de valores (Quadro 06) e Equação 3. O valor encontrado para  $U$  foi de 2,6, aproximadamente, ficando dentro do intervalo sugerido por Di Bernardo e Sabogal-Paz (2008). Segundo os autores, o coeficiente de areias utilizadas em filtros deve estar entre 2 e 4. De modo análogo, o tamanho efetivo dos grãos da areia é de aproximadamente 0,27 mm, dentro do intervalo também sugerido pelos autores, 0,15-0,30 mm.

Quadro 06: Valores observados e interpolados a partir da curva granulométrica.

	d <sub>10</sub> (mm)		d <sub>60</sub> (mm)	
	% Passante	Diâmetro do Grão (mm)	% Passante	Diâmetro do Grão (mm)
% Passante por diâmetro conhecido	1,630	0,150	55,180	0,590
	11,810	0,300	79,310	1,180
Diâmetro calculado por interpolação em % desejada	10,000	0,273	60,000	0,708

Fonte: Autor (2024).

### 5.1.2 Conchas de sururu

Como resultados da verificação da capacidade de absorção das conchas (Quadro 07), o método adaptado do DNER-ME 195 trouxe valores aproximados para o tratamento por BU e BS, de 3,69 e 3,25, respectivamente. Esse fato condiz com o objetivo dos métodos utilizados, que não buscam mudança na estrutura do material, mas a inativação de possíveis microrganismos patógenos.

Quadro 07: Massas úmidas e secas das conchas de sururu.

Tratamento	Massa Seca (g)	Massa Úmida (g)
Banho Ultrassônico (BU)	93,4763	97,0552
Banho de Sol (BS)	85,6381	88,5124

Fonte: Autor (2024).

Quanto aos ensaios realizados com as conchas, foi possível constatar constância nos valores de pH da água, que variaram de 7,7 a 8,1 quando em contato com a concha. Para os valores da água destilada, os resultados sempre se mostraram superiores aos das análises realizadas em contato com a água, o que torna possível afirmar que as conchas conferiram acidez ao meio. Entretanto, todos os valores estiveram dentro dos limites preconizados pela portaria nº 888/2021 que, ao se referir sobre tempo de desinfecção com cloro, traz informações sobre pH da água variando entre 6,0 e 9,0. Os resultados, tanto da água destilada em contato com conchas, quanto sem contato, após 3 dias, podem ser observados no Quadro 08.

Quadro 08: Resultados das análises de pH dos ensaios com conchas.

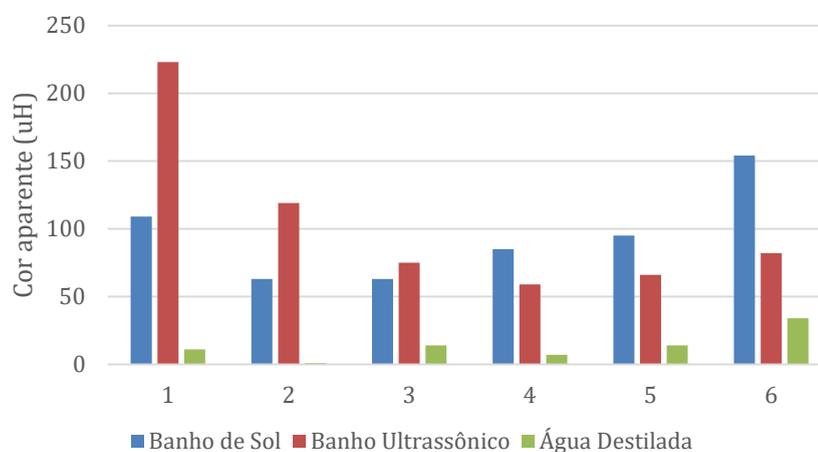
Análise	Tratamento		Água Destilada
	Banho de Sol (BS)	Banho Ultrassônico (BU)	
1	7,7	8,1	8,7
2	7,7	7,8	8,5
3	8,2	8,5	8,9
4	8	7,9	8,9
5	8,1	8,3	8,6
6	7,9	8,1	8,7

Fonte: Autor (2024).

Vale ressaltar que, segundo Fogaça (2021), o carbonato de cálcio, material presente em elevadas concentrações nas conchas, possui pH entre 6,0 e 6,2, o que explica a acidificação do meio, apesar das conchas serem usadas para corrigir meios ácidos, como é o caso do estudo realizado por Silva et al. (2014). Quanto a diferença entre os tipos de tratamento, com 7,9 de média nas análises do BS e 8,1 do BU, não foi identificada variação significativa.

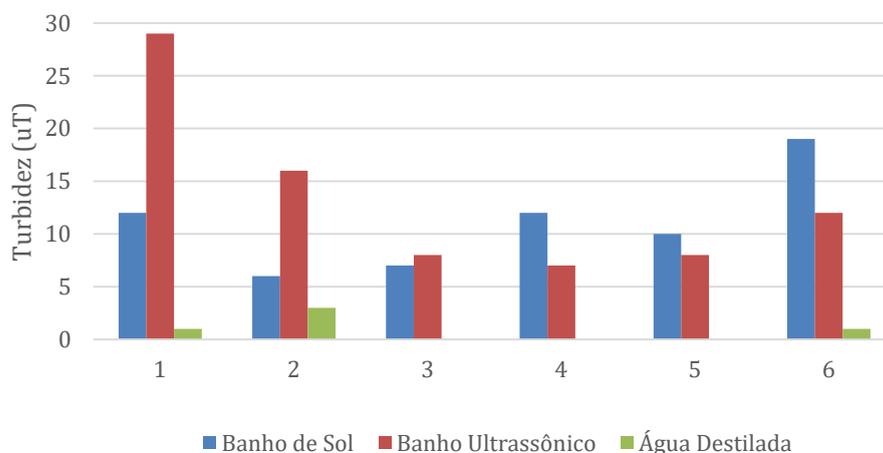
Concernente aos parâmetros cor e turbidez, nenhuma das análises realizadas com as conchas em contato com a água apresentaram valores dentro dos máximos valores permitidos (VMP) pela portaria de potabilidade, que devem ser menores que 15uH e 1uT para cor e turbidez, respectivamente (Figuras 21 e 22), quando o tratamento é dado por filtração lenta. Durante os ensaios foi possível observar que a degradação do perióstraco, película superficial externa das conchas e constituída em sua grande parte de matéria orgânica (Paula, 2006), influenciou nos resultados. O aumento nos níveis dos parâmetros pode ser atribuído as partículas suspensas e dissolvidas formadas a partir dessa degradação.

Figura 21: Resultados das análises de cor aparente das amostras de água.



Fonte: Autor (2024).

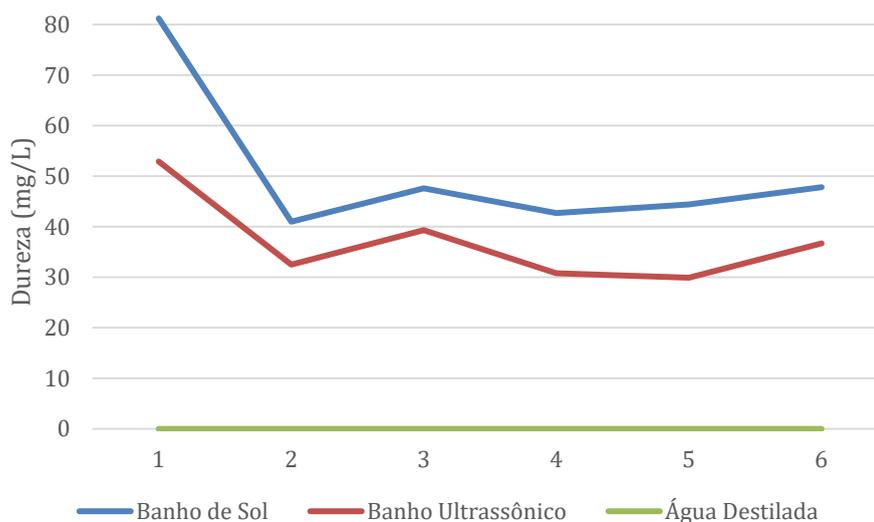
Figura 22: Resultados das análises de turbidez das amostras de água.



Fonte: Autor (2024).

No que diz respeito à dureza, os valores para água destilada foram sempre nulos, diferente das amostras em contato com as conchas (Figura 23). O parâmetro dureza, segundo Solís-Castro, Zúñiga-Zúñiga e Mora-Alvarado (2018), mede a quantidade de cálcio e magnésio, sendo expressa como carbonato de cálcio. Ademais, as conchas de sururu possuem alta porcentagem de carbonato de cálcio, além de matéria orgânica e outros possíveis constituintes, como ferro e alumínio, o que explica os resultados positivos para dureza. A presença do carbonato de cálcio é um dos seus principais atrativos na busca por patentes no tratamento de águas residuais (Mata et al., 2019; Rimar, 2013; Silva, 2007).

Figura 23: Resultados das análises de dureza das amostras.



Fonte: Autor (2024).

Ressalva-se ainda, a partir dos resultados, que todas as amostras foram inferiores ao preconizado pela portaria do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021b), que é de até 300 mg/L. Houve, ainda, um decréscimo de 41,13% e 30,62% da concentração das amostras do banho de

sol e banho ultrassônico, respectivamente, o que permite verificar a existência de variações, que pode ser melhor avaliada durante o funcionamento de um filtro com esse material. A mesma observação pode ser aplicada aos outros parâmetros, visto que os ensaios se basearam no contato estático da água com as conchas, o que não acontece em um filtro lento com fluxo de água constante.

No que se refere às dimensões das conchas, a medição do comprimento (C) e largura (L) de 100 exemplares (Apêndice B) trouxe médias de 5,46 cm e 2,61 cm, respectivamente. A proporção de L:C é de aproximadamente 2:1. O maior exemplar encontrado na amostra possuía 7,42 cm de comprimento e 3,45 cm de largura, o que corrobora a afirmação de Reis Júnior (2016), de que os indivíduos adultos de *Mytella guyanensis* possui entre 6,3 cm a 8,6 cm de comprimento.

a) *Análise de Área Superficial (BET)*

Sendo a área superficial um dos parâmetros que fundamentam a capacidade de adsorção de um material (Sun et al., 2016), é possível observar (Quadro 09) os resultados das análises de área superficial das conchas de sururu em comparação com resultados de áreas de outras conchas de moluscos disponíveis na bibliografia.

Quadro 09. Área superficial de conchas de moluscos.

Fonte	Molusco	Área BET (m <sup>2</sup> /g)
Autor	<i>Mytella guyanensis</i>	0,175 <sup>a</sup> 0,200 <sup>b</sup>
Wei et al. (2018)	<i>Mytilus edulis</i>	1,120
Tsai (2018)	<i>Crassostrea gigas Pacific</i>	4,05
Paiva et al. (2018)	<i>Anomalocardia brasiliiana</i>	4,44

a = conchas tratadas por banho de sol; b = conchas tratadas por banho ultrassônico.

Fonte: Autor (2024).

A partir dos dados foi possível observar que as áreas superficiais das conchas analisadas no presente estudo são aproximadas, ou seja, não há significativa variação em relação as conchas que passaram pelo tratamento BS e BU. Ademais, os valores são menores que os encontrados em ensaios feitos com outros moluscos, o que sugere menor desempenho na capacidade de adsorção do material (Paiva et al., 2018; Tsai, 2018; Wei et al., 2018).

Quanto ao diâmetro dos poros das amostras, também obtidas a partir do BET, foi verificado o mesmo comprimento de raios, 1,99 nm, para conchas que passaram por BU e BS. De acordo com o International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC, 2014), a classificação dos materiais quanto ao diâmetro dos poros é dada por:

- (i)  $d < 50$  nm, macroporos;
- (ii)  $2 \text{ nm} < d \leq 50$  nm, mesoporos;
- (iii)  $d \leq 2$  nm, microporos.

Destarte, tendo os diâmetros das conchas, aproximadamente, 3,98 nm, podem ser classificadas como mesoporosas, tal como o carvão ativado e alumina utilizados por Silva (2020) como materiais adsorventes de corantes em soluções aquosas. Contudo, Ahmed Eljiedi et al. (2019), ao caracterizar as conchas do molusco bivalve Lala clam (*Orbicularia orbiculata*), segundo análise de área superficial BET, classificou o material como microporoso, demonstrando haver diferença entre a classificação de moluscos bivalves.

*b) Microscopia Eletrônica De Varredura – MEV*

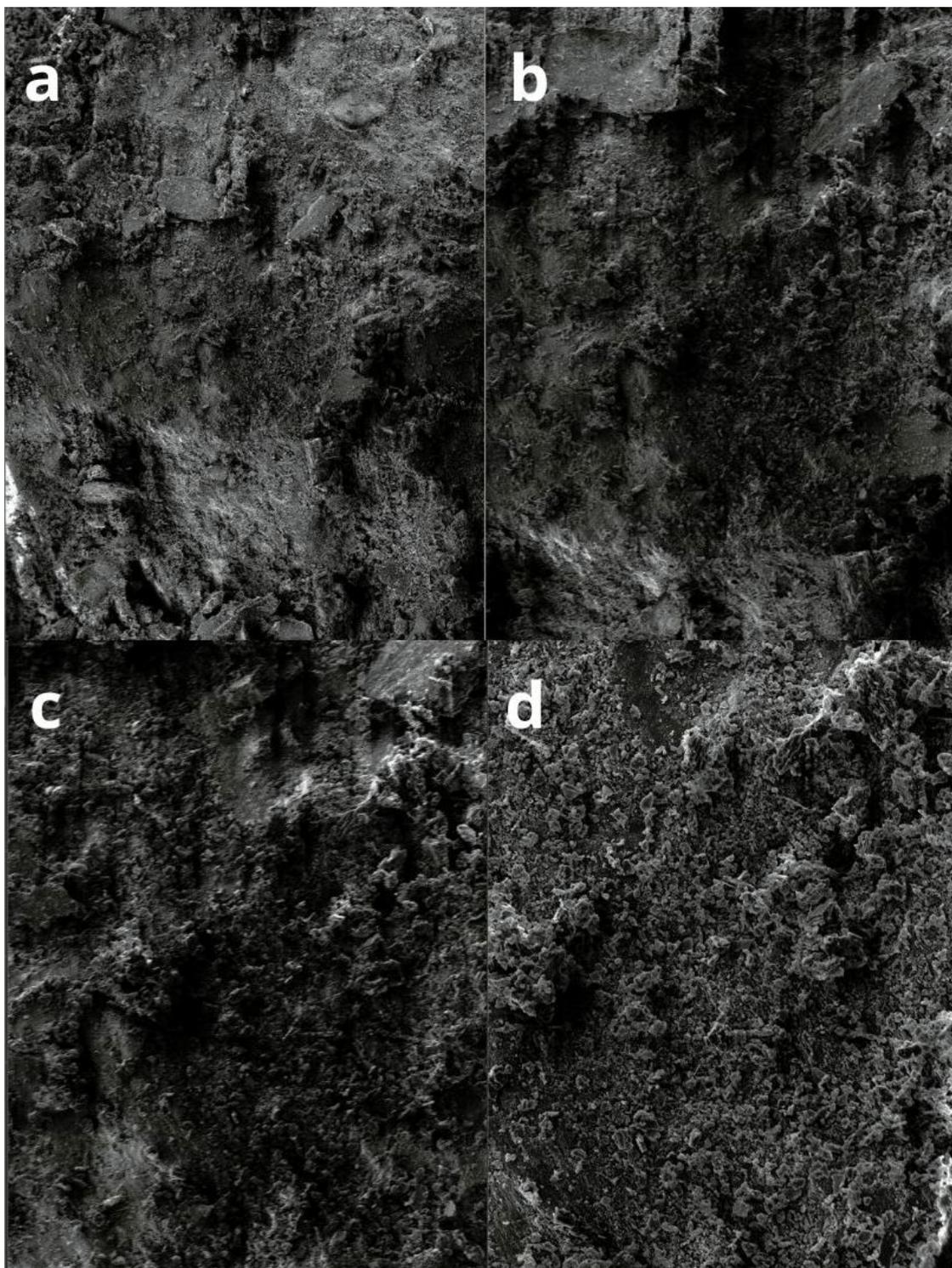
As aparências externas das conchas podem ser observadas nas Figuras 24 e 25, correspondentes às microscopias eletrônicas realizadas nas amostras que passaram por tratamento BS e BU, respectivamente.

Figura 24. Morfologia das conchas que passaram por tratamento BS.



a = magnificação 500x; b = magnificação 1000x; c = magnificação 1500x; d = magnificação 2000x.  
Fonte: Autor (2024).

Figura 25. Morfologia das conchas que passaram por tratamento BU.



a = magnificação 500x; b = magnificação 1000x; c = magnificação 1500x; d = magnificação 2000x.  
Fonte: Autor (2024).

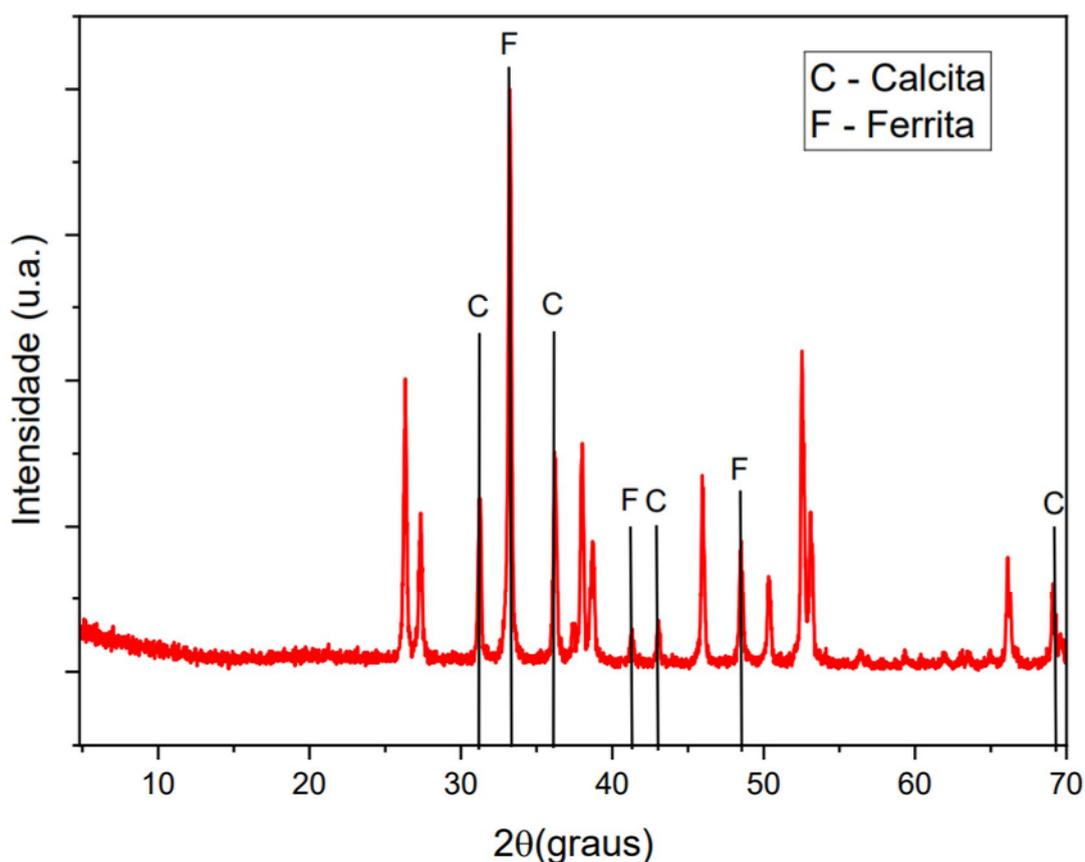
A partir das Figuras 24 e 25 é possível perceber que as morfologias das conchas são heterogêneas, assim como citado por Silva et al. (2017) ao analisar conchas de sururu. No presente estudo, não foram observadas mudanças significativas nas características entre os tratamentos realizados, ou seja, a morfologia não trouxe diferença no desempenho dos filtros

que usaram conchas que passaram por BU e BS. Não obstante, as superfícies podem ser caracterizadas rugosas, com presença de pequenos poros, capazes de armazenar poluentes, tal como identificado por Salim et al. (2018) em seu estudo sobre conchas de mexilhões. Todavia, diferente do que foi observado por Quintela (2020) e Li et al. (2014) em seus estudos de caracterização de moluscos bivalves, não foi identificado aspecto morfológico laminar nas conchas do presente estudo.

c) Difratometria de Raios-X (DRX)

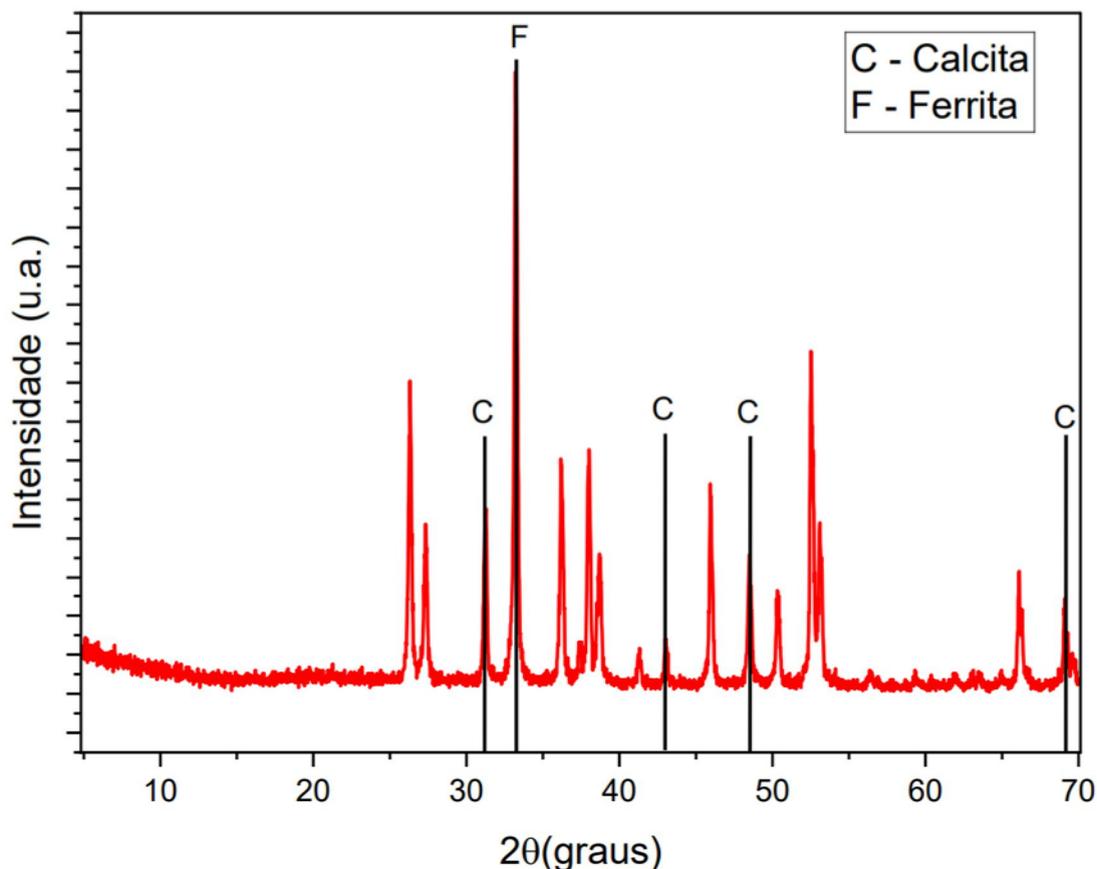
Os difratogramas de raios-x observados nas Figuras 26 e 27, trazem os resultados das análises feitas a partir da difratometria das conchas que passaram por tratamento BS e BU, respectivamente.

Figura 26. Difrátograma de raio-x das conchas que receberam tratamento BS.



Fonte: Autor (2024).

Figura 27. Difratoograma de raio-x das conchas que receberam tratamento BU.



Fonte: Autor (2024).

Os gráficos trouxeram resultados que corroboram o que afirma a literatura sobre a constituição das conchas de sururu, possuindo fases cristalinas de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), a calcita (Alves, 2016; Quintela; 2020; Silva et al., 2017). Também foi possível ser identificado a presença de ferrita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), que pode ser resultado das condições ambientais a que o molusco foi exposto (Silva et al., 2017).

Apesar de identificadas as fases supracitadas, alguns picos dos difratogramas não correspondem a nenhum dos dados cristalográficos existentes. Todavia, compreende-se que não há diferença entre as amostras (BS e BU), quando comparada a possível influência dos tratamentos realizados nas características das conchas, visto que as mesmas fases (calcita e ferrita) foram identificadas pela DRX.

## 5.2 Camada Suporte

Para a verificação dos tipos de britas utilizados na camada suporte, os três tipos de britas adquiridas passaram por análise dimensional (Apêndice C). Os resultados das médias dos agregados ratificaram os tipos informados durante a compra do material, brita 1 (B1), brita 2 (B2) e brita 3 (B3), como mostra comparação feita no Quadro 10.

Quadro 10. Comparação entre diâmetros normatizados e adquiridos.

Tipo de Brita	Dimensões normatizadas, ABNT NBR 7225/1993 (mm).	Dimensão média de brita adquirida (mm)
Brita 1 (B1)	$> 9,5$ e $\leq 19,0$	16,9
Brita 2 (B2)	$> 19,0$ e $\leq 25,0$	23,4
Brita 3 (B3)	$> 25,0$ e $\leq 50,0$	26,9

Fonte: Autor (2024) e adaptada ABNT (1993).

A partir da identificação, as britas foram denominadas como B1, B2 e B3 para realização dos ensaios. De maneira análoga, porém mais sutil, ao que aconteceu com o pH da água destilada em contato com as conchas, as britas diminuíram o valor do pH ao entrar em contato com a água. Contudo, como anteriormente citado, as alterações foram menores, o que culmina em menor influência, ao comparar de maneira direta (mesma massa de material), em alterações provocadas na água ao passar pelos filtros (Quadro 11).

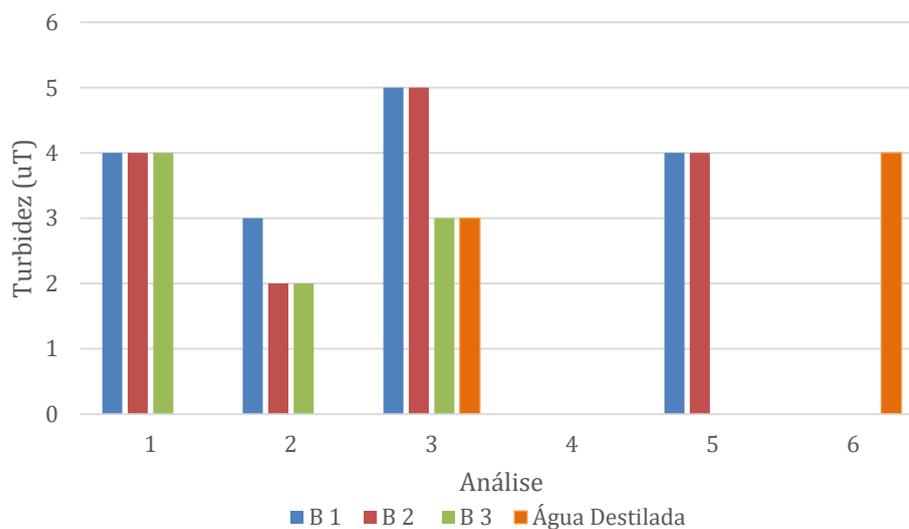
Quadro 11. Resultados das análises de pH dos ensaios com britas.

Análise	Tipo de Brita			Água Destilada
	B1	B2	B3	
1	7,9	7,6	7,7	7,8
2	7,8	7,3	7,4	8,0
3	8,8	8,3	8,5	8,8
4	8,9	9,2	9,0	9,4
5	9,1	8,8	8,8	9,1
6	8,6	8,6	8,6	8,8
Média	8,5	8,3	8,3	8,7

Fonte: Autor (2024).

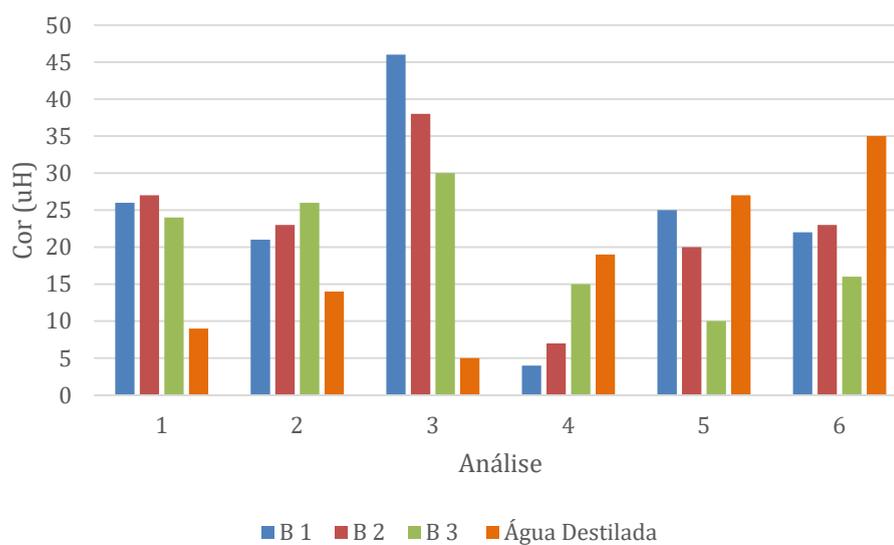
Alusivo ao parâmetro turbidez, tal como das conchas, nenhuma das amostras coletadas esteve abaixo do VMP de 1uT (Figura 28), ou seja, a quantidade de material em suspensão na água analisada estava fora do padrão de potabilidade. De modo semelhante, no que se refere ao parâmetro cor, a maior parte das amostras esteve em desacordo com a portaria nº 888/2021, provando que ainda após a lavagem, as britas mantiveram material fino retido, aumentando assim os valores de cor da água destilada (Figura 29). Entretanto, pode ser observado valores significativos para água destilada nas últimas análises, podendo ser a responsável pelos valores fora de padrão apresentados. Vale ressaltar que na análise número 4 do parâmetro turbidez, todos os valores foram nulos.

Figura 28: Resultados das análises de turbidez dos ensaios com britas.



Fonte: Autor (2024).

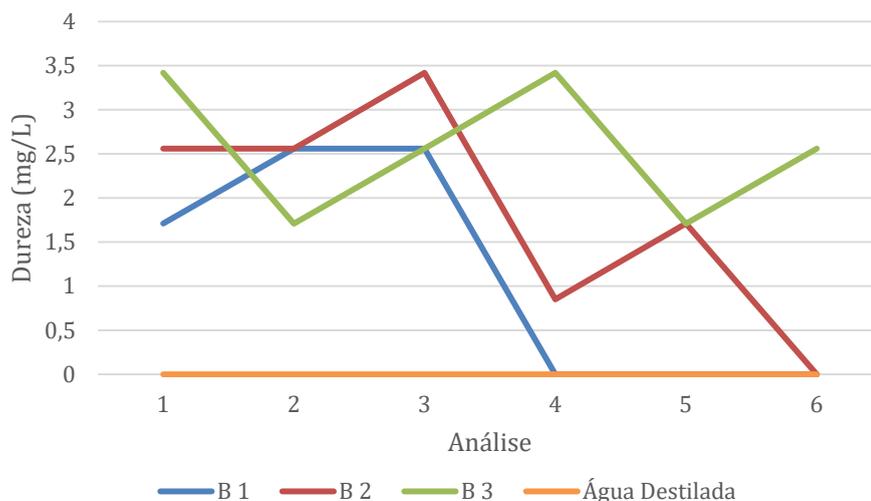
Figura 29: Resultados das análises de cor dos ensaios com britas.



Fonte: Autor (2024).

Quanto as análises de dureza da água, houve tendência de queda nos valores com a B1 e B2, e de estabilidade para a B3 (Figura 30). Ou seja, no funcionamento dos filtros, caso haja aumento do parâmetro dureza na água tratada, a presença de brita possui pequena relevância, ademais, ao comparar os valores dos ensaios realizados com as conchas, é possível observar grande diferença nos valores.

Figura 30: Resultados das análises de dureza dos ensaios preliminares com britas.



Fonte: Autor (2024).

### 5.3 Análises de Parâmetros de Qualidade – Sistema Piloto

Os estudos estatísticos dos resultados foram feitos com a aplicação do método não paramétrico de Wilcoxon pareado, a fim de verificar se havia diferença significativa entre os valores identificados nas amostras de água bruta e após filtração em cada um dos filtros. Em caso de constatação de diferença, o aumento ou diminuição da média dos valores indicou a influência do filtro no parâmetro analisado. Para tal, foram atribuídos intervalo de confiança de 95% e  $\alpha = 0,05$ , como limite para aceitação, por serem amplamente utilizados em estudos estatísticos (Romero et al., 2021; Correa et al., 2020; Tavares et al., 2020; Patino; Ferreira, 2015). Para compor os resultados, padronizou-se que, àqueles resultados menores que os limites mínimos de detecção do aparelho foram adotados 0.

#### 5.3.1 Água Bruta

Os resultados das médias e desvios padrões dos ensaios realizados com a água bruta estão dispostos na Tabela 02, bem como alguns limites sugeridos em literatura por Di Bernardo e Dantas (2005) para o a água bruta em filtros que funcionam com carreiras de mais de 30 dias. Nota-se que os valores médios de turbidez, ferro total e coliformes termotolerantes nas três carreiras estiveram abaixo dos máximos indicados pela literatura, enquanto a média dos coliformes totais da última carreira esteve acima do valor máximo sugerido para 90% das amostras.

Sendo assim, a fim de analisar a ocorrência de valores e compará-los com as frequências mínimas recomendadas para determinados parâmetros em bibliografia, a Tabela 03 traz o resumo da frequência em todas as carreiras. Quanto a turbidez, pode-se observar que em apenas 81,33% das vezes os resultados estiveram abaixo de 5 (uT), ou seja, em desacordo com 90,00% sugeridos. Para os valores de coliformes totais, onde recomenda-se que 90,00% das amostras apresentem valores inferiores a 100 (NMP/100mL), apenas 80,00% apresentaram valor inferior. Tais resultados podem comprometer a eficiência do tratamento (Maciel, 2018).

Tabela 02. Resultados médios das análises de água bruta.

Parâmetro	Carreira			Valores recomendados por Di Bernardo e Dantas (2005)
	Primeira	Segunda	Terceira	
Cor Aparente (uH)	46,51 <sup>a</sup> ± 13,64 <sup>b</sup>	44,47 ± 15,15	67,76 ± 32,59	-
Turbidez (uT)	3,56 ± 2,02	2,69 ± 1,69	5,85 ± 2,79	100% < 15 95% < 10 90% < 5
pH	7,73 ± 0,43	7,62 ± 0,41	6,92 ± 0,48	-
Dureza (mg/L)	48,06 ± 4,13	39,11 ± 3,37	40,42 ± 1,79	-
Temperatura (°C)	25,76 ± 1,90	24,75 ± 1,63	27,26 ± 1,02	-
Ferro Total (mg/L)	0,16 ± 0,16	0,30 ± 0,14	0,40 ± 0,05	100% < 1,5 95% < 1,0 90% < 0,5
Alumínio (mg/L)	7,58x10 <sup>-3</sup> ± 5,83x10 <sup>-3</sup>	3,50x10 <sup>-3</sup> ± 1,18x10 <sup>-3</sup>	5,85x10 <sup>-3</sup> ± 3,90x10 <sup>-3</sup>	-
Coliformes Totais (NMP/100mL)*	35,00 ± 23,65	9,27 ± 10,08	135,00 ± 7,07	100% < 1000 95% < 250 90% < 100
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)*	24,76 ± 25,63	5,00 ± 7,00	10,75 ± 8,83	100% < 500 95% < 250 90% < 100

a = média; b = desvio padrão; \* NMP/100: número mais provável por 100 mL.

Fonte: Autor (2024).

Tabela 03. Comparação entre resultados das análises de água bruta e literatura.

Parâmetro	Ocorrência de valores durante funcionamento do sistema	Valores recomendados por Di Bernardo e Dantas (2005)
Turbidez (uT)	100,00% < 15	100,00% < 15
	98,67% < 10	95,00% < 10
	<b>81,33% &lt; 5</b>	90,00% < 5
Ferro Total (mg/L)	100,00% < 1,5	100,00% < 1,5
	100,00% < 1,0	95,00% < 1,0
	1000,00% < 0,5	90,00% < 0,5
Coliformes Totais (NMP/100mL)*	100,00% < 1000	100,00% < 1000
	100,00% < 250	95,00% < 250
	<b>80,00% &lt; 100</b>	90,00% < 100
Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)*	100,00% < 500	100,00% < 500
	100,00% < 250	95,00% < 250
	100,00% < 100	90,00% < 100

a = média; b = desvio padrão; \* NMP/100: número mais provável por 100 mL.

Observação: os números em itálico e negrito representam resultados em desacordo com a bibliografia

Fonte: Autor (2024).

Dados os resultados observados na Tabela 2 foi possível perceber desvios padrões significativos nos parâmetros microbiológicos de coliformes totais e termotolerantes, o que indica dispersão da média (Oliveira, 2017). De acordo com Grott et al. (2018), em estudo sobre variações na qualidade de água bruta subterrânea, parâmetros biológicos como *E. Coli* podem aumentar em até seis vezes entre os meses do mesmo ano, trazendo alerta para o monitoramento do tratamento.

### 5.3.2 Cor Aparente e Turbidez

Todos resultados médios de cor aparente dos filtros estiveram acima dos 15 uH preconizado pela portaria de potabilidade do ministério da saúde (Brasil, 2021b), como pode ser observado na Tabela 04 e Figura 31. Contudo, de acordo com o P-Valor calculado pelo método de Wilcoxon e médias dos resultados, todos os filtros reduziram os valores do parâmetro.

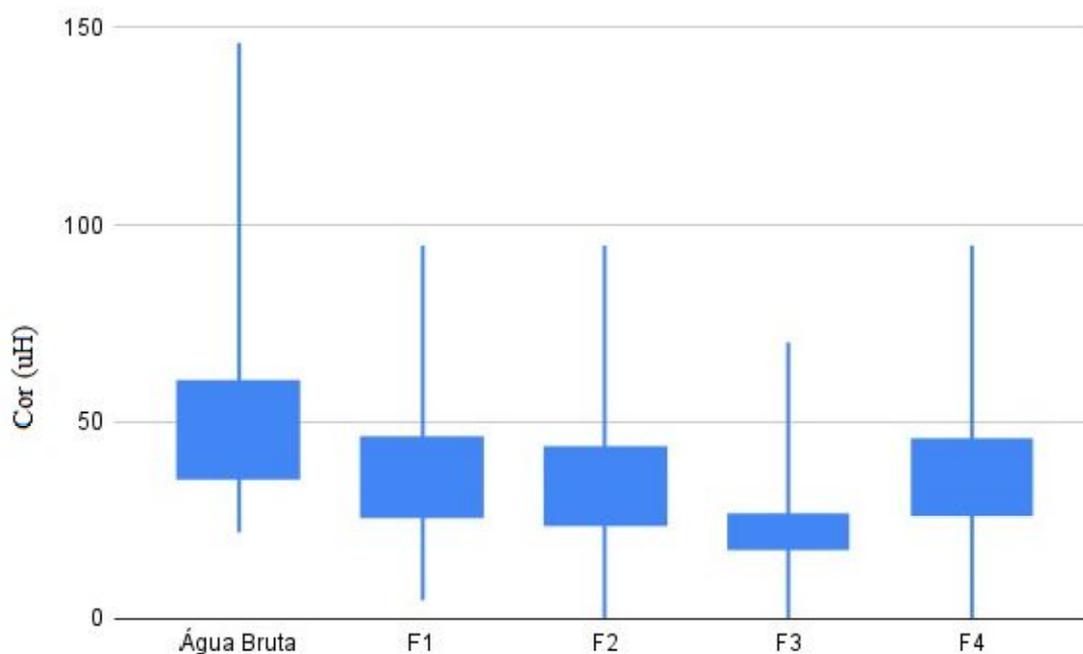
Tabela 04. Resultados estatísticos das análises de cor aparente (uH).

Carreira	Resultado por Filtro (uH)				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	46,51 <sup>a</sup> ± 13,64 <sup>b</sup>	44,26 ± 15,67	41,41 ± 15,98	33,10 ± 13,68	45,64 ± 15,54
Segunda	44,48 ± 15,16	26,43 ± 11,77	24,96 ± 11,20	20,43 ± 10,44	30,13 ± 17,17
Terceira	67,77 ± 32,59	31,38 ± 14,03	32,31 ± 14,77	21,00 ± 11,12	26,00 ± 13,04
Total	49,57 ± 20,18	36,56 ± 16,34	34,79 ± 16,06	27,12 ± 13,70	37,48 ± 17,73
P-valor*		3,64 x10 <sup>-6</sup>	1,21x10 <sup>-6</sup>	2,82x10 <sup>-11</sup>	2,00x10 <sup>-4</sup>

a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Figura 31. Box Plot das análises de cor aparente (uH).



Fonte: Autor (2024).

Quanto às eficiências apresentadas, os resultados seguiram a ordem decrescente de F3 > F2 > F1 > F4, com 45,29%, 29,83%, 26,25%, 24,39%, respectivamente. Apesar de apresentar remoção do parâmetro, as eficiências são menores do que visto em literatura, como no estudo de Silva et al. (2018) realizado com filtros lentos, onde foram observadas eficiências de 99,99%. Também apresentando melhor desempenho, Worma (2018) obteve eficiência de 76% na remoção de cor aparente.

O F3, com conchas inteira que passaram por tratamento BU, ainda que tenha apresentado melhor desempenho, teve somente 14,67% das amostras abaixo dos 15 uH. Todavia, nos testes estatísticos realizados para verificar diferença significativa entre os resultados das análises do F3 e os demais filtros (95% de confiança), observou-se p-valores de  $9,5 \times 10^{-7}$ ,  $1,7 \times 10^{-7}$  e  $9,7 \times 10^{-8}$ , quando comparados com os filtros F1, F2 e F4, respectivamente, comprovando melhor eficiência de remoção que os demais filtros. O F1 (filtro somente com areia) e F2 (conchas inteiras que passaram por BS) tiveram valores abaixo em 8,00% das análises e F4 (conchas trituradas) em 5,30%. Pizzolatti (2014), para filtros lentos, encontrou em 100% das amostras de cor aparente, em filtro com meio filtrante de areia, valores inferiores aos 15 uH.

Consoante ao parâmetro de turbidez, que a portaria recomenda valores inferiores a 1 uT, nenhuma dos filtros apresentou média inferior ao indicado, como pode ser observado na Tabela 05 e Figura 32 (Brasil, 2021b). De forma análoga ao observado no parâmetro cor aparente, o estudo estatístico comprovou diminuição nos resultados de água filtrada por todos os filtros.

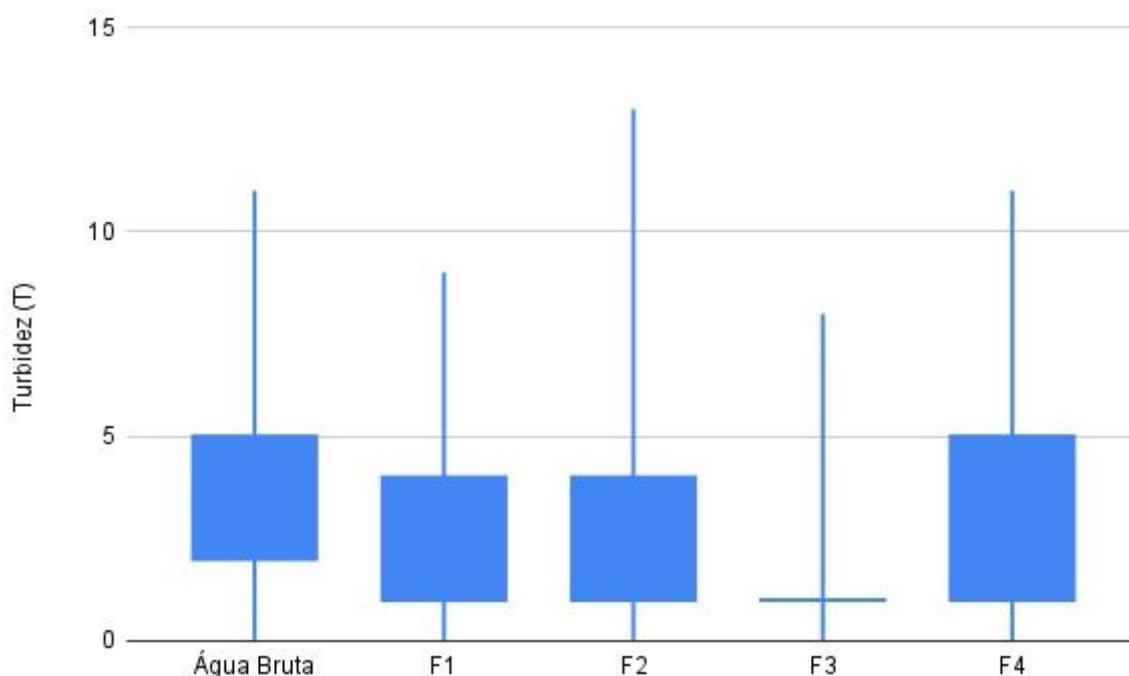
Tabela 05. Resultados estatísticos das análises de turbidez (uT).

Carreira	Resultado por Filtro (uT)				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	3,56 <sup>a</sup> ± 2,02 <sup>b</sup>	3,95 ± 2,52	3,69 ± 2,69	2,69 ± 2,25	4,05 ± 2,23
Segunda	2,69 ± 1,69	1,52 ± 1,59	1,52 ± 1,73	1,26 ± 1,18	2,09 ± 2,44
Terceira	5,84 ± 2,79	2,15 ± 1,67	1,69 ± 1,31	1,38 ± 1,26	1,69 ± 1,44
Total	3,69 ± 2,31	2,89 ± 2,39	2,68 ± 2,45	2,03 ± 1,94	3,04 ± 2,41
P-valor*		3,34x10 <sup>-2</sup>	6,32x10 <sup>-3</sup>	4,37x10 <sup>-6</sup>	1,3 x10 <sup>-1</sup>

a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Figura 32. Box Plot das análises de turbidez (uT)



Fonte: Autor (2024).

Quanto às eficiências apresentadas por filtro para a turbidez, os resultados mostram a mesma ordem da apresentada para o parâmetro cor ( $F3 > F2 > F1 > F4$ ), com 45,17%, 27,44%, 21,66%, 17,69%, respectivamente. Os valores estão abaixo do apresentado por Takassugui, Arantes e Jesus (2019), em seus estudos de remoção de turbidez com utilização de filtros lentos, onde os filtros apresentaram eficiências superiores a 80%.

Tal como no parâmetro cor, estatisticamente o F3 apresentou melhor desempenho quando comparado aos demais filtros, com p-valores abaixo de 0,5 e 24,00% das amostras estando abaixo do 1 uT. Os filtros F1 e F2 tiveram 24,00% das amostras com valores  $< 1$  uT, enquanto o F4 possuiu 21,33%. De acordo com a portaria, 95% das amostras precisaria estar em conformidade com o preconizado.

Em estudo realizado por Lima (2020), comparando o desempenho de filtros lentos com diferentes materiais filtrantes, o autor obteve eficiências médias de cor aparente variando de 62,84 a 75,46% e turbidez de 66,37 a 87,29%, utilizando 20 cm de altura de meio filtrante. Ademais, as médias dos parâmetros cor aparente e turbidez da água bruta foi de 38,00 uH e 3,29 uT, respectivamente, comparadas a 49,57 uH e 3,69 uT do presente estudo. Desse modo, o menor desempenho dos filtros na remoção de cor aparente e turbidez pode estar associado à altura do meio filtrante utilizado (15 cm). O Quadro 12 apresenta as alturas utilizadas pelos autores citados acima no meio filtrante. Além disso, artigos citados na década de 70 do século passado e início do século XX, trazem características usuais de filtros, delimitando a altura usual do meio filtrante (Quadro 13).

Quadro 12. Alturas de meio filtrante de filtros lentos utilizadas em estudos recentes.

Referência	Altura em centímetros
Lima (2020)	20
Pizzolatti (2014)	40
Silva et al. (2018)	45
Takassugui, Arantes e Jesus (2019)	40
Worma (2018)	40

Fonte: Autor (2024).

Quadro 13. Alturas de meio filtrante de filtros lentos sugeridas.

Referência	Altura de meio filtrante sugerida (cm)
Huisman e Wood (1974)	60 a 120
Di Bernardo e Dantas (2005)	60 a 90
Logsdon (2008)	50 a 120

Fonte: Adaptado Pizzolatti (2014).

### 5.3.3 Dureza

Os resultados médios do parâmetro dureza se mantiveram inferiores aos 300 mg/L previstos pela portaria de potabilidade (Apêndice F), como pode ser observado pela Tabela 06 e Figura 29. Ademais, foi possível notar que os P-Valores do Filtro 2, 3 e 4, filtros que possuíam conchas, foram inferiores ao  $\alpha = 0,05$ , sendo constatada estatisticamente a diferença entre os valores quando comparados com as amostras de água bruta, o que não ocorreu no Filtro 1, filtro sem conchas (P-Valor > 0,05). Sendo as médias dos filtros com conchas maiores que a da água bruta, percebe-se que a presença do material aumentou a dureza da água, o que pode ser explicado pelos resultados da DRX e literatura, que indicam a presença de carbonato de cálcio nas conchas de sururu, porém tudo dentro dos limites preconizados (Quintela; 2020; Silva et al. 2017; Alves, 2016).

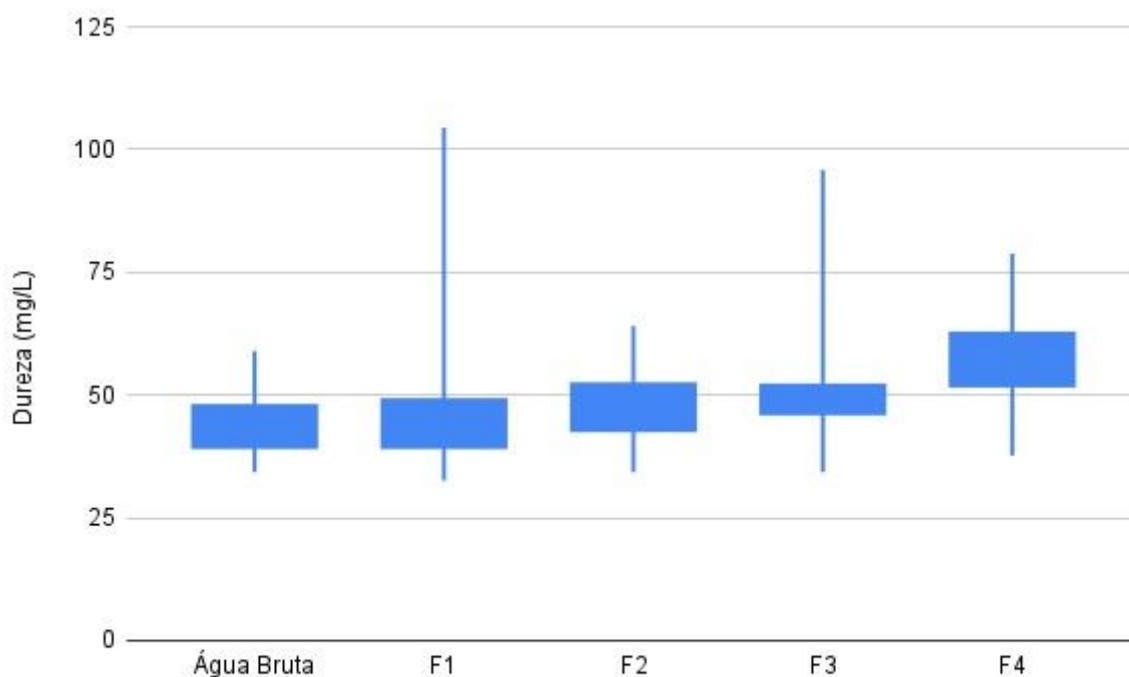
Tabela 06. Resultados estatísticos das análises de dureza (mg/L).

Carreira	Resultado por Filtro (mg/L)				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	48,06 <sup>a</sup> ± 4,13 <sup>b</sup>	51,07 ± 12,00	52,23 ± 4,80	58,31 ± 8,62	60,22 ± 6,98
Segunda	39,11 ± 3,37	38,74 ± 3,30	41,88 ± 3,95	43,53 ± 6,23	51,99 ± 7,26
Terceira	40,42 ± 1,79	39,49 ± 1,01	44,38 ± 2,84	47,55 ± 3,64	54,29 ± 3,82
Total	43,99 ± 5,57	45,28 ± 10,69	47,698 ± 6,41	51,92 ± 9,93	56,67 ± 7,58
P-valor*		7,4x10 <sup>-1</sup>	1,03x10 <sup>-11</sup>	1,11x10 <sup>-13</sup>	5,26x10 <sup>-14</sup>

a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Figura 33. Box Plot das análises de dureza (mg/L).



Fonte: Autor (2024).

O Filtro 4, com conchas trituradas, obteve a maior média entre os filtros, o que pode ser explicado pela maior superfície de contato entre o material carbonáceo e a água (Marani; Oliveira; Sá, 2017; Silva; Silva; Dantas Filho, 2015). Quanto a diferença entre os tratamentos BS e BU, não foi identificada significativa entre o F2 e F3, no entanto, foram identificados mais picos de calcita no difratograma das conchas que passaram por BU, o que pode explicar a resultado maiores em F3.

### 5.3.4 pH

Os valores de pH, tanto da água bruta quanto das filtradas, enquadraram-se nos padrões de potabilidade, estando entre 6 e 9 (Brasil, 2021b). Os valores foram regulares, não havendo desvio padrões significativos, como pode ser observado na Tabela 07 e Figura 34. O pH da Água Bruta variou de 6,3 a 8,4, de 6,5 para 8,3 no Filtro 1, 6,6 para 8,5 no Filtro 2, de 6,6 para 8,6 no Filtro 3 e de 6,7 para 8,5 no Filtro 4.

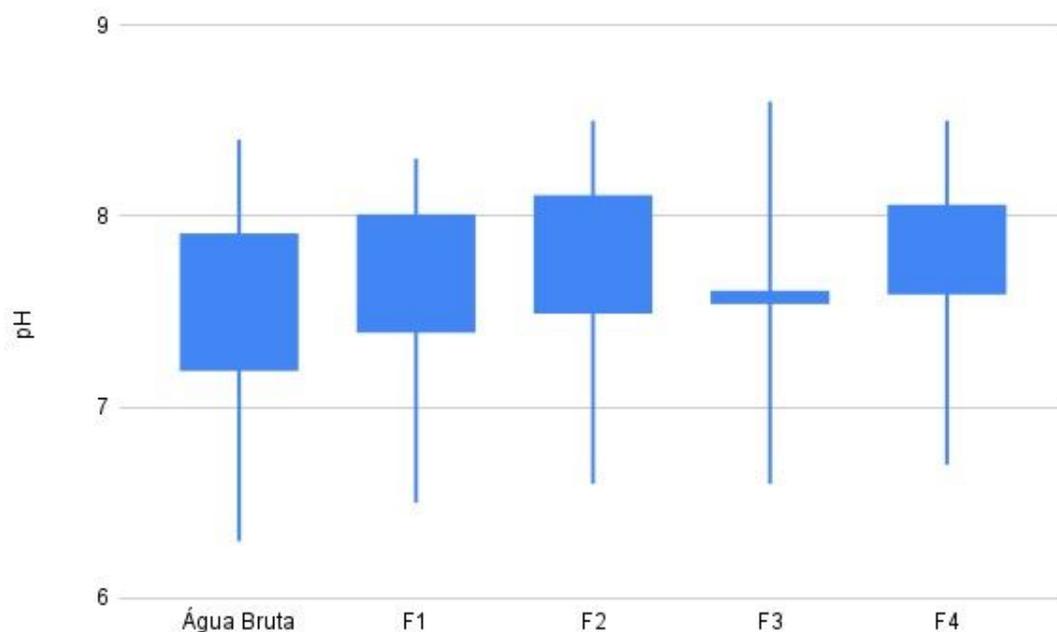
Tabela 07. Resultados estatísticos das análises de pH.

Carreira	Resultado por Filtro				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	7,73 <sup>a</sup> ± 0,43 <sup>b</sup>	7,74 ± 0,39	7,82 ± 0,40	7,22 ± 0,42	7,86 ± 0,35
Segunda	7,62 ± 0,41	7,80 ± 0,35	7,82 ± 0,29	7,87 ± 0,29	7,89 ± 0,26
Terceira	6,92 ± 0,48	7,21 ± 0,45	7,20 ± 0,48	7,81 ± 0,37	7,35 ± 0,46
Total	7,56 ± 0,52	7,67 ± 0,44	7,71 ± 0,45	7,72 ± 0,42	7,78 ± 0,40
P-valor*		5,02x10 <sup>-5</sup>	1,26x10 <sup>-5</sup>	3,18x10 <sup>-5</sup>	4,42x10 <sup>-7</sup>

a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Figura 34. Box Plot das análises de pH.



Fonte: Autor (2024).

A diferença entre as médias do pH da água bruta, 0,81 da primeira para terceira carreira, está de acordo com os resultados obtidos por Antônio et al. (2021), em que as médias ao longo do ano variaram em 0,8. O autor afirma que a sazonalidade e fraturas geológicas podem afetar os valores de pH ao longo do ano. Segundo a ANA, os valores de pH de águas subterrâneas estão entre 5,5 e 8,5 (ANA, 2024).

Apesar da água subterrânea possuir característica alcalina advinda da formação rochosa ao qual está inserida (Santos, 2016), foi possível observar, segundo os dados estatísticos, o aumento da alcalinidade após a utilização dos filtros, o que indica que o meio filtrante possui materiais mais básicos que a água, podendo ser bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) (Souto et al., 2014).

### 5.3.5 Ferro Total e Alumínio

A Tabela 08 e Figura 35 trazem os resultados das análises de ferro total das amostras coletadas mensalmente. De acordo com os cálculos estatísticos foi possível constatar diminuição na concentração do metal em todos os filtros, por p-valor  $< 0,05$ . Apesar do resultado dos difratogramas demonstrarem presença de ferrita na composição das conchas, não houve indícios de influência na qualidade da água pois, ao comparar o F1 (filtro sem conchas) com os demais filtros, contendo conchas, foram observadas as eficiências de remoção, ordinariamente: F3=88,95%, F4=79,45%, F1=79,29% e F2=76,47%. Os valores de todas as análises estiveram abaixo dos 0,3 mg/L estabelecidos em norma, com o F3 tendo melhor desempenho de remoção comprovado a partir dos testes estatísticos, por p-valores menores que 0,5.

Tabela 08. Resultados estatísticos das análises de ferro total (mg/L).

Carreira	Resultado por Filtro (mg/L)				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	$0,16^a \pm 0,16^b$	$0,07 \pm 0,06$	$0,05 \pm 0,05$	$0,04 \pm 0,05$	$0,05 \pm 0,05$
Segunda	$0,30 \pm 0,14$	$0,04 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,06$	$0,02 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,10$
Terceira	$0,40 \pm 0,05$	$0,03 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,04$	$0,00 \pm 0,00$	$6,50 \times 10^{-3} \pm 9,20 \times 10^{-3}$
Total	$0,25 \pm 0,16$	$0,05 \pm 0,05$	$0,06 \pm 0,05$	$0,03 \pm 0,04$	$0,05 \pm 0,6$
P-valor*		$7,68 \times 10^{-3}$	$7,63 \times 10^{-3}$	$7,68 \times 10^{-3}$	0,01

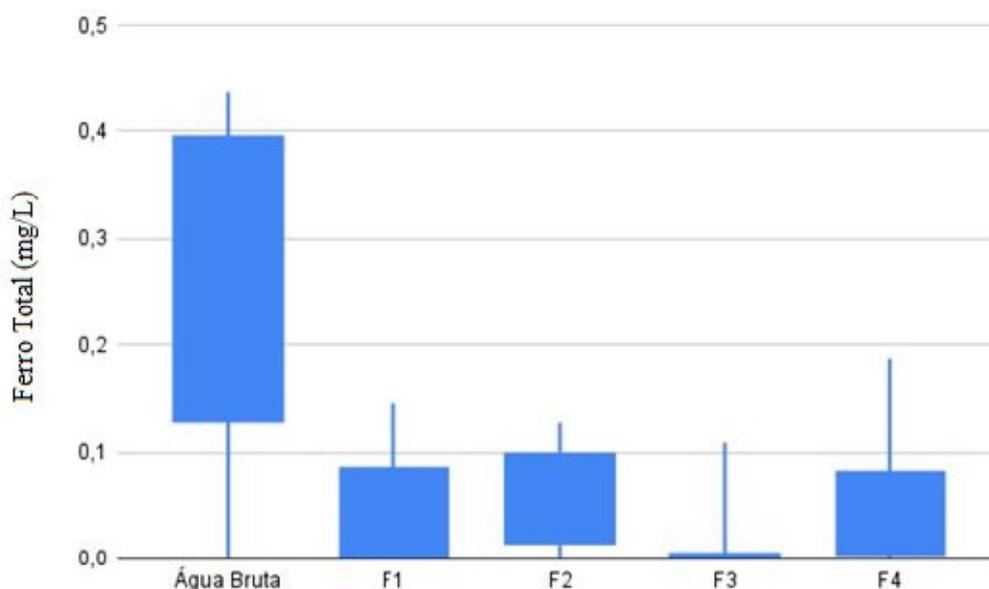
a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Em estudo realizado por Bavandpour et al. (2018), comparando a remoção de metais em wetlands em escala de laboratório feitas com cascalho de conchas e biomassa vegetal, os autores encontraram eficiência de remoção de ferro de aproximadamente 99,00%. Com resultados análogos, porém com o uso de biorreatores preenchidos com casca de mexilhão em águas residuais de minas, Diloreto et al. (2016) também obtiveram porcentagens de aproximadamente 99,00%. De acordo com Sari et al. (2021), a capacidade das conchas de removerem metais vem do processo de adsorção, proporcionada pela quitosana produzida pela quitina existente nas conchas. Os autores desenvolveram a pesquisa focando na produção de membranas de quitosana a partir de conchas do molusco *Anadara granosa* e posterior análise

de remoção de ferro da água, observando que quanto maior a concentração de quitosana, maior a efetividade de remoção, que variou de 38,00 a 94,00%, com menor e maior concentração, respectivamente.

Figura 35. Box Plot das análises de ferro total (mg/L).



Fonte: Autor (2024)

Quanto aos dados das análises de alumínio, os estudos também demonstraram diminuição das concentrações do parâmetro, por p-valor < 0,05 (Tabela 09 e Figura 32). As eficiências de remoção foram de 61,76% no F1, 66,72% no F2, 82,35% no F3 e 89,52% no F4, sempre apresentando valores finais abaixo do preconizado em norma (VMP=0,2 mg/L).

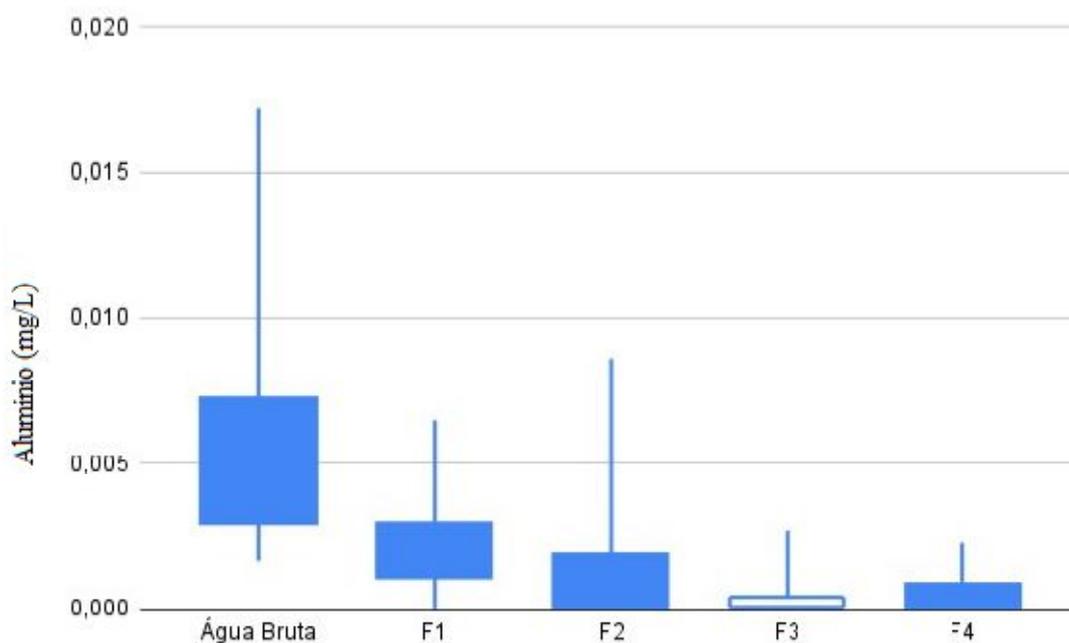
Tabela 09. Resultados estatísticos das análises de alumínio (mg/L).

Carreira	Resultado por Filtro (mg/L)				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	$7,58 \times 10^{-3} \pm 5,83 \times 10^{-3}^b$	$3,40 \times 10^{-3} \pm 1,90 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-3} \pm 2,10 \times 10^{-3}$	$1,00 \times 10^{-3} \pm 1,10 \times 10^{-6}$	$7,00 \times 10^{-4} \pm 1,00 \times 10^{-3}$
Segunda	$3,50 \times 10^{-3} \pm 1,18 \times 10^{-3}$	$6,00 \times 10^{-4} \pm 9,00 \times 10^{-4}$	$4,00 \times 10^{-4} \pm 7,00 \times 10^{-4}$	$8,00 \times 10^{-4} \pm 4,00 \times 10^{-4}$	$4,05 \times 10^{-4} \pm 4,46 \times 10^{-4}$
Terceira	$5,85 \times 10^{-3} \pm 3,90 \times 10^{-3}$	$1,90 \times 10^{-3} \pm 1,50 \times 10^{-3}$	$4,30 \times 10^{-3} \pm 6,10 \times 10^{-3}$	$1,70 \times 10^{-3} \pm 8,00 \times 10^{-4}$	$7,77 \times 10^{-4} \pm 1,56 \times 10^{-4}$
Total	$6,00 \times 10^{-3} \pm 4,50 \times 10^{-3}$	$2,30 \times 10^{-3} \pm 1,90 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-3} \pm 2,90 \times 10^{-3}$	$1,10 \times 10^{-3} \pm 9,00 \times 10^{-4}$	$6,00 \times 10^{-4} \pm 7,00 \times 10^{-4}$
P-valor*		$3,70 \times 10^{-2}$	$5,78 \times 10^{-2}$	$5,00 \times 10^{-3}$	$1,95 \times 10^{-3}$

a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Figura 36. Box Plot das análises de alumínio (mg/L).



Fonte: Autor (2024).

Os resultados também indicaram que há diferença significativa entre o desempenho do F1 (sem conchas) e os filtros F3 e F4, por p-valores de 0,04 e 0,02, quando comparados o F1 com o F3 e F4, respectivamente. A diminuição das médias pode ser atribuída a capacidade de adsorção das conchas. Contudo, quanto a influência do tratamento e utilização de forma inteira (F3) ou triturada (F4), não foi identificada influência nos resultados estatísticos. Também não foi identificada diferença entre o filtro F1 e o filtro com conchas inteiras que passaram por banho de sol (F2).

Segundo Teixeira (2020), há consenso de que quanto maior a área superficial do material adsorvente, maior a capacidade de adsorção. Outro fator que influencia na remoção pela adsorção é o tempo de contato (Morais et al., 2019), entretanto, levando em consideração que os filtros possuíam a mesma taxa de filtração, não pode ser atribuída diferença de eficiência a tal fato.

Diloreto et al. (2016) encontrou valores percentuais de remoção de alumínio de aproximadamente 99,00%. Tanto para o parâmetro ferro, quanto para o parâmetro alumínio, a diferença entre as efetividades encontradas no presente estudo e em literatura podem ser atribuídas a menor área superficial do material adsorvente em comparação aos encontrados em outros estudos (Quadro 08).

### 5.3.6 Coliformes Totais e Termotolerantes

Apesar das primeiras coletas de água para análise de presença de coliformes totais e termotolerantes terem sido realizadas em menos de um mês após o início da operação do

sistema, os filtros apresentaram significativa eficiência na remoção dos microrganismos. De acordo com Murtha e Heller (2003), a redução efetiva de coliformes totais ocorrem nos 30 cm iniciais, contudo, embora os filtros do presente estudo possuam 15 cm de altura de meio filtrante, as eficiências na remoção de microrganismos foram superiores a 80% ainda na primeira carreira, com melhora nas posteriores.

Consoante os coliformes totais, foi identificado, a partir dos estudos estatístico, melhora em todos os filtros (por p-valor < 0,05), com resultados podendo ser observados na Tabela 10 e Figura 37. Os filtros F2, F3 e F4, com conchas, obtiveram eficiências estatisticamente semelhantes e superiores a 90,00%, com 91,81%, 93,02% e 92,79%, respectivamente. Apesar de inferior, a eficiência do F1 também foi satisfatória, igual a 87,90% e estatisticamente semelhante.

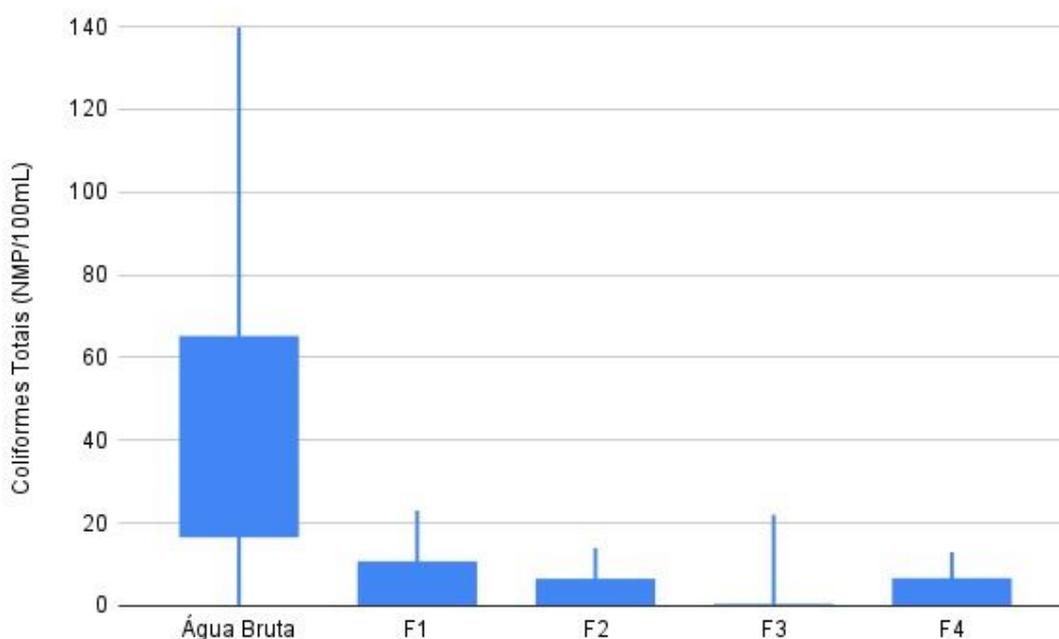
Tabela 10. Resultados estatísticos das análises de coliformes totais (NMP/100mL).

Carreira	Resultado por Filtro (mg/L)				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	35,00 <sup>a</sup> ± 23,65 <sup>b</sup>	6,84 ± 7,63	5,36 ± 5,45	6,60 ± 9,84	6,42 ± 4,75
Segunda	9,27 ± 10,08	0,00 ± 0,00	0,67 ± 1,15	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Terceira	135,00 ± 7,07	11,50 ± 16,26	4,95 ± 4,17	0,00 ± 0,00	1,00 ± 1,41
Total	47,28 ± 50,52	5,72 ± 8,61	3,87 ± 4,51	3,30 ± 7,42	3,41 ± 4,52
P-valor*		7,69x10 <sup>-3</sup>	7,69x10 <sup>-3</sup>	0,01	7,69x10 <sup>-3</sup>

a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Figura 37. Box Plot das análises de coliformes totais (NMP/100mL).



Fonte: Autor (2024).

Embora o sistema tenha se mostrado eficiente na remoção de coliformes totais, nenhum dos filtros foi capaz de produzir uma amostragem com valores microbiológicos dentro do exigido pela portaria nº 888/2021 (Brasil, 2021b), ausência em 100 mL. Dado os resultados de p-valor, os filtros F1, F2 e F4 apresentaram a mesma eficiência, não havendo diferença estatística entre o uso de conchas ou utilização de forma inteira ou triturada. O F3, apesar de melhor eficiência, apresentou p-valor de 0,01, superior aos demais. Todavia, apenas as duas primeiras amostras obtiveram valores acima do limite mínimo detectável pelo ensaio.

No que concerne os coliformes termotolerantes, os estudos estatísticos também comprovaram melhora nos valores após a filtração, por p-valores inferiores a 0,05 (Tabela 11 e Figura 38). Dado os resultados de p-valor, os filtros F1, F3 e F4 apresentaram eficiências muito próximas, não indicando diferença estatística entre o uso de conchas ou utilização de forma inteira ou triturada, porém, as amostras analisadas pelo F3 estiveram de acordo com a norma, no consoante a ausência de *E. Coli.* em 100 mL (Brasil, 2021b).

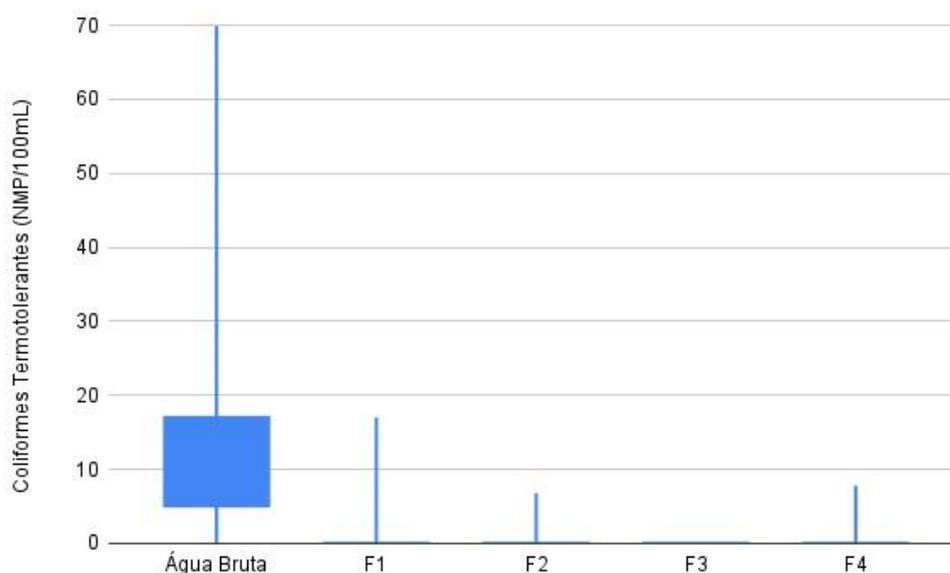
Tabela 11. Resultados estatísticos das análises de coliformes termotolerantes (NMP/100mL).

Carreira	Resultado por Filtro (mg/L)				
	Água Bruta	F1	F2	F3	F4
Primeira	24,76 ± 25,63	3,40 ± 7,60	1,36 ± 3,04	0,00 ± 0,00	1,92 ± 3,38
Segunda	5,00 ± 7,00	0,00 ± 0,00	0,67 ± 1,15	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Terceira	10,75 ± 8,84	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00
Total	16,03 ± 20,02	1,70 ± 5,38	0,88 ± 2,17	0,00 ± 0,00	0,96 ± 2,47
P-valor*		7,42x10 <sup>-3</sup>	0,01	7,42x10 <sup>-3</sup>	7,58x10 <sup>-3</sup>

a = média; b = desvio padrão; \* teste de Wilcoxon-Pareado entre água bruta e filtro.

Fonte: Autor (2024).

Figura 38. Box Plot das análises de coliformes termotolerantes (NMP/100mL).



Fonte: Autor (2024).

A gradativa melhora na remoção de microrganismos pode estar associada a maturação da camada microbiológica e sua comunidade predatória (Garcia et al., 2022). De acordo com Albuquerque et al. (2019), a camada é responsável pela degradação da matéria orgânica, atingindo eficiência de remoção de 99% a 100% no estado de maturação e entre 85% e 98% antes da maturação. O que corrobora o observado no presente estudo, com eficiências podendo ser analisadas na Tabela 12.

Tabela 12. Eficiência de remoção de coliformes termotolerantes por filtro (%).

Carreira	F1	F2	F3	F4
Primeira	86,27	94,51	100,00	92,25
Segunda	100,00	86,67	100,00	100,00
Terceira	100,00	100,00	100,00	100,00
Total	89,39	94,51	100,00	94,01

Obs.: valores em porcentagem (%).

Fonte: Autor (2024).

O filtro F3, que passou por tratamento BU, foi o mais efetivo na remoção de coliformes termotolerantes, com eliminação de 100% dos microrganismos. Estudos trazendo resultados sobre a remoção de comunidades microbianas apontam bom desempenho da técnica ao comparar com técnicas manuais de limpeza (Lopes et al., 2019; Ren-Pei et al., 2014; Alfa; Fatima; Olson, 2013). Contudo, a presença de coliformes termotolerantes na água do filtro F1, sem conchas, supões que a presença do contaminante nos filtros F2 e F4 não está associado ao modo de tratamento realizado nas conchas. Ademais, a etapa de filtração serve como agente físico do tratamento, não dispensando a posterior desinfecção, obrigatória pela portaria de potabilidade e responsável por remoção de microrganismos que resistiram às fases anteriores (Brasil, 2021b).

### 5.3.7 Desempenho dos Filtros

Na Tabela 13 é possível observar o resumo das eficiências dos filtros em cada uma das carreiras e eficiência total por parâmetro, bem como valores máximos e mínimos encontrados, além dos VMP pela portaria de potabilidade nº888/21 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021b). Ademais, a quantidade de amostras em cada uma das carreiras pode ser observada na Tabela 14.

Tabela 13: Tabela resumo de desempenho dos filtros.

Parâmetro	Filtro	Eficiência (%)				a	b	Portaria nº 888/21
		1ª Carreira	2ª Carreira	3ª Carreira	Total			
Cor Aparente (uH)	1	4,85	40,56	53,69	26,25	5,00	95,00	15
	2	10,97	43,89	52,32	29,83	0,00	95,00	
	3	28,83	54,05	69,01	45,29	0,00	70,00	
	4	1,87	32,26	61,63	24,39	0,00	95,00	
Turbidez (uT)	1	-10,79	43,55	63,16	21,66	0,00	9,00	1
	2	-3,60	43,55	71,05	27,44	0,00	13,00	
	3	24,46	53,22	76,31	45,13	0,00	8,00	
	4	-13,67	22,58	71,05	17,69	0,00	11,00	
Dureza (mg/L)	1	-6,25	0,95	2,30	-2,93	32,57	104,47	300
	2	-8,68	-7,10	-9,79	-8,42	34,28	64,10	
	3	-21,33	-11,31	-17,65	-18,01	34,28	95,83	
	4	-25,30	-32,93	-34,30	-28,82	37,71	78,80	
Alumínio (mg/L)	1	54,52	82,11	66,98	61,76	0,00	$6,5 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-1}$
	2	73,18	88,42	26,41	66,73	0,00	$8,6 \times 10^{-3}$	
	3	86,88	77,89	71,70	82,35	0,00	$2,6 \times 10^{-3}$	
	4	90,67	88,42	86,79	89,52	0,00	$2,3 \times 10^{-3}$	
Ferro Total (mg/L)	1	58,07	87,48	91,82	79,29	0,00	$1,46^{-1}$	$3,0 \times 10^{-1}$
	2	66,63	80,40	82,14	76,47	0,00	$1,27^{-1}$	
	3	72,13	94,46	100,00	88,95	0,00	$1,09^{-1}$	
	4	68,09	73,09	98,36	79,45	0,00	$1,87^{-1}$	
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	1	80,46	100,00	91,48	87,90	0,00	23,00	Ausência
	2	84,68	92,81	96,33	91,81	0,00	14,00	
	3	81,14	100,00	100,00	93,02	0,00	22,00	
	4	81,66	100,00	99,26	92,79	0,00	13,00	
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	1	86,27	100,00	100,00	89,39	0,00	17,00	Ausência
	2	94,51	86,67	100,00	94,51	0,00	6,80	
	3	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	
	4	92,24	100,00	100,00	94,01	0,00	7,80	

a= valor mínimo; b=valor máximo.

Fonte: Autor (2024).

Tabela 14: Quantidade de amostras utilizada no estudo.

Parâmetros	Quantidade de Amostras			
	1ª Carreira	2ª Carreira	3ª Carreira	Total
Cor, Turbidez, Dureza e pH.	39	23	13	75
Alumínio, Ferro Total, Coliformes Termotolerantes e Coliformes Totais.	5	3	2	10

Fonte: Autor (2024).

A partir de comprovação estatística, o filtro F3, com conchas inteiras que passaram por banho ultrassônico, obteve melhor eficiência de remoção em todos os parâmetros. Além da influência que as características dos materiais do meio filtrante e tipo de tratamento trouxeram ao resultado, possíveis disparidades durante a operação dos filtros, desde o recheio na primeira carreira até a desativação, pode interferir no resultado.

Quanto ao tempo de duração das carreiras, a 1ª durou 149 dias, a 2ª 99 dias e o término da 3ª (56 dias) foi dado pelo fim do período do estudo e não da impossibilidade de manutenção da taxa estabelecida, o que impediu a verificação da influência da espessura da camada de meio filtrante raspada no tempo de carreira.

## 6 CONCLUSÃO

Como resposta à avaliação dos filtros estudados, observou-se resultados favoráveis e outros limitantes, que resultaram em algumas conclusões, assim elencadas.

Quanto à caracterização dos materiais: A areia esteve em acordo com o proposto em literatura para utilização em filtros lentos, com coeficiente de uniformidade de 2,6 e tamanho efetivo de grão de 0,27 mm. As conchas apresentaram fases de ferrita e calcita, com morfologia heterogênea, diâmetro de poros de 3,98 nm, classificando-as como mesoporosas e área superficial significativamente menor que outros materiais adsorventes, 0,175 e 0,200 m<sup>2</sup>/g, para conchas que passaram por BS e BU, respectivamente. Mesmo com menor área superficial, as conchas se mostraram material usual em substituição do material convencional utilizado nos filtros.

No tocante aos parâmetros organolépticos cor e turbidez de água tratada, estiveram em desacordo com a portaria de potabilidade, com os filtros apresentando eficiência máxima de 45,29% para cor e 45,17% para turbidez. Apesar de todos os filtros serem capazes de diminuir os parâmetros supracitados, o filtro F3, recheado com areia e conchas pré-tratadas por banho ultrassônico, foi o mais eficiente na remoção. A espessura do meio filtrante (15 cm), pode ser uma das razões para os resultados em desacordo com o preconizado.

Em relação às questões de funcionamento do sistema, os resultados dos ensaios preliminares durante este período comprovaram que a utilização das conchas confere dureza à água, sobretudo quando triturada, por promover maior superfície de contato entre água e o material, porém, em todos os casos os valores estiveram abaixo do máximo tolerado pela portaria de potabilidade. O pH também apresentou influência quando utilizado conchas, tornando a água filtrada mais alcalina.

Quanto a adsorção de metais, os filtros foram capazes de proporcionar redução nos níveis, sem influência do uso de conchas ou tratamento para o ferro total. Consoante ao alumínio, a presença de conchas tornou os filtros mais eficiente, não havendo influência no pré-tratamento dado ao material. Apesar dos resultados das análises de água filtrada apresentarem valores mais baixos dos que os máximos permitidos aos metais investigados, as eficiências de remoção foram menores que os visto em literatura, podendo estar atribuídos a menores áreas superficiais das conchas que as observadas em outros materiais adsorventes.

Para os parâmetros microbiológicos, os filtros foram capazes de realizar remoção, mas apenas as amostras de água tratada do filtro F3, com areia e conchas que passaram por tratamento BU, apresentaram resultados de acordo com a portaria. Todavia, a portaria

determina ser obrigatória a posterior desinfecção da água para eliminação de microrganismos. Sendo assim, as eficiências de remoção apresentadas, tanto para coliformes totais, quanto para coliformes tolerantes, superiores a 90% na maioria das análises, torna a utilização dos filtros satisfatória.

Dado o exposto, apesar da filtração lenta apresenta-se como tecnologia individual capaz de promover o tratamento de água e, possivelmente, sanar a discrepância existente entre a cobertura na distribuição de água entre áreas rurais e urbanas, o presente estudo constata que a utilização de conchas de sururu como material não convencional de filtros demanda mais estudos. Propõe-se, para estudos futuros, avaliar a inserção de camada mais espessa de conchas no meio filtrante, a fim de melhor compreender influência do seu uso na qualidade da água tratada. Utilizar método que dispense regulação de taxa manual e garanta sua constância. Adotar igual espessura de conchas trituradas e inteiras no meio filtrante para comparar desempenho.

## REFERÊNCIAS

- ABIKO, A. K.; ALMEIDA, M. A. P.; BARREIROS, M. **Urbanismo: história e desenvolvimento**. São Paulo: Escola Politécnica, 1995 (Texto Técnico do PCC).
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). **Materiais de pedra e agregados naturais – NBR 7225**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 4p.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR NM 2048. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABRUNHOSA, J. P. **Novas Oportunidades na Aquicultura Técnico em Aquicultura**. 1ª ed. Belém do Pará: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Pará, 2011.
- AHMED ELJIEDI, A. A. et al. Lala clam (*Orbicularia orbiculata*) shell as an eco-friendly adsorbent for Cd(II), Cu(II) and Pb(II) ions. **Arab Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 26, n. 1, p. 462–475, 2 jan. 2019.
- ALBUQUERQUE, M. V. C. Avaliação do Desempenho de Filtros Lentos como tecnologia para potabilização de água: uma revisão. **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 7: Congestas**. 2019.
- ALFA, M. J.; FATIMA, I.; OLSON, N. The adenosine triphosphate test is a rapid and reliable audit tool to assess manual cleaning adequacy of flexible endoscope channels. **American Journal of Infection Control**, Saint Louis, v. 41, n. 3, p. 249- 53, Mar. 2013.
- ALVES, A. C. **Avaliação da pesca e dos resíduos de *Mytella* spp. pelas marisqueiras da Taíçoca de Fora - Nossa Senhora do Socorro/SC**. Universidade Federal De Sergipe Pró-Reitoria De Pós-Graduação E Pesquisa Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente Nível de Mestrado, 2016.
- ALVES, F. G. C.; ARAÚJO, F. T. V. Sistemas de abastecimento em comunidades rurais do semiárido: a implantação do SISAR em Cristais, Cascavel, CE. **Revista Tecnologia**, v. 37, n. 1/2, p. 78–86, 14 set. 2016.
- AMIRTHARAJAH, A. Some Theoretical and Conceptual Views of Filtration. **Journal (American Water Works Association)**, v. 80, n. 12, p. 36–46, 1988.
- ANA. Agência nacional de águas e saneamento básico. Disponível: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 18 janeiro. 2024.
- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Água no Mundo. Situação da Água**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>. Acesso em: 11 de março de 2023.
- ANDRADE NETO, C. O. DE. Tratamento de esgotos domésticos. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 6–6, mar. 2006.

ANDREOLI, F. C.; SABOGAL-PAZ, L. P. Household slow sand filter to treat groundwater with microbiological risks in rural communities. **Water Research**, v. 186, p. 116352, 1 nov. 2020.

ATHAYDES, T. V. S.; PAROLIN, M.; CRISPIM, J.Q. Análise histórica sobre práticas de saneamento básico no mundo. **Revista nacional de gerenciamento de cidades**, v. 8, n. 65, 2020.

AZEVÊDO, L. C.; LIMA, A. J.; MICHELAN, D. C. G. S. Comunidade Microbiana de Biofilmes de Filtros Lentos para o Tratamento de Água: Uma Revisão Sistemática. RCT: **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 8, 27 set. 2022.

AZEVEDO, R. P. DE. Uso de água subterrânea em sistema de abastecimento público de comunidades na várzea da Amazônia central. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 3, p. 313–320, 2006.

BARBOSA, J. et al. A técnica de Filtração em Margem: histórico de aplicação no mundo e experiências brasileiras. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, 2 out. 2018.

BARROS, R. **A história do saneamento básico na Idade Antiga**. Rodo inside, 3 de dezembro de 2014. Disponível em: <http://www.rodoinside.com.br/historia-saneamentobasico-na-idade-antiga/>. Acesso em: 05 abr. 2023.

BATISTA, C. C. P. **Estudo das manifestações patológicas e técnicas de reparos nas estruturas dos reservatórios elevados da cidade de São José de Piranhas/PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB. Cajazeiras, 2022.

BAVANDPOUR, F. et al. Removal of dissolved metals in wetland columns filled with shell grits and plant biomass. **Chemical Engineering Journal**, v. 331, p. 234–241, jan. 2018.

BILLAH, R. E. K. et al. Shellfish waste-derived mesoporous chitosan for impressive removal of arsenic (V) from aqueous solutions: A combined experimental and computational approach. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 15, n. 10, p. 104123, out. 2022.

BIRK et al. Intercalibrating classifications of ecological status: Europe's quest for common management objectives for aquatic ecosystems. **Sci. Total Environ.** Pp. 490-499, 2013.

BITTENCOURT, C.; PAULA, M. A. S. **Tratamento de Água e Efluentes - Fundamentos de Saneamento Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos**. Editora Saraiva, 2014.

BOLONHEZ, B. F.; MOTTA, B. L. S.; SOARES, P. F. **A legislação sobre o padrão de potabilidade: a evolução brasileira, europeia e americana**. X Encontro Internacional de Produção Científica. Outubro de 2017.

BRANCO FILHO, T. D. C. T. et al. Prognóstico do processo de privatização da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN). Aspectos históricos e uma comparação com o cenário latino e europeu. **Campos Neutrais-Revista Latino-Americana de Relações Internacionais**, 3(2), 52-71, 2021.

BRASIL. **Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Decreta o Código de águas Constituição da República dos Estados Unidos do Brasil. Brasília, DF: Presidência da República, 1934.

BRASIL. Fundação Nacional da Saúde (FUNASA). **Cadernos temáticos - Abastecimento de água potável**. Brasília, 2016.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento. Brasília, 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF: Presidência da República, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde**. – 5.ed. 545 p.: il. Brasília: Funasa, 2019.

BRASIL. **Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, n. 85, p. 127, 7 de maio 2021b.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº357/2005**. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Publicado no DOU, 2005.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 396/2008** - "Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências." Publicado DOU nº 66, de 07/04/2008, págs. 66-68.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/painel>. Acesso em: 10 de março de 2023.

BRUNAUER, S.; EMMETT, P. H.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. **Journal of the American chemical society**, v. 60, n. 2, p. 309-319, 1938. 10.1021/ja01269a023

CABRAL, E. C. **Japaratuba: da Origem ao Século XIX**. Aracaju: Triunfo, 2007.

CARDOSO, J. L.; BOTTAINI, C. **Os artefactos metálicos recolhidos no povoado calcolítico muralhado do Outeiro Redondo (Sesimbra)**. Estudos composicionais com recurso ao método da espectrometria de fluorescência de raios X. Estudos Arqueológicos de Oeiras, v. 32, p. 43-60, 2023.

CARVALHEIRO, J. DA R. Água e saúde: bens públicos da humanidade. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 139–149, ago. 2015.

CASTRO-SANTOS, L. A. Um Século de Cólera: Itinerário do Medo. Physis. **Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro: IMS/Uerj, v. 4, n.1, p. 79-110, 1994.

CORRÊA, C. A. et al. Níveis de estresse, ansiedade, depressão e fatores associados durante a pandemia de COVID-19 em praticantes de Yoga. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, v. 25, p. 1-7, 2020.

COSTA, A. T. **Aproveitamento das conchas de sururu como matéria prima alternativa para fabricação de tijolo solo-cimento: Uma abordagem em economia circular**. Dissertação (mestrado) apresentada ao Programa de Pós-graduação em sociedade, tecnologia e políticas públicas do Centro Universitário Tiradentes, 2021.

COUTINHO, M. K. et al. **A cada lata: a extração do sururu na Lagoa Mundaú - Alagoas**. Editora IABS. Brasília. p. 97. 2014.

CRITTENDEN, J.C. et al. **Coagulation and Flocculation, MWH's Water Treatment: Principles and Design**. 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 541-639. 2012.

CUEVAS, L. A. S. **Adsorção de corantes em turfa de origem Magalhânica**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas - SP. 2011.

DA SILVA, M. V. S. **Forças dispersivas entre átomos e uma superfície condutora**. Tese de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2016.

DAMASCENO, N. L. de A. **Relatório técnico de perfuração de poços tubulares**. São Cristóvão: Sondar - Hidrogeologia Consultoria e Perfuração Ltda, 2010.

DE QUEIROZ, J. R. C. et al. Métodos de caracterização de materiais para pesquisa em odontologia. **RFO UPF** [online]. 2012, vol.17, n.1, pp. 106-112. ISSN 1413-4012.

DESO. Companhia de Saneamento de Sergipe. **Base de dados da concessionária**. 2022.

DI BERNARDO, L. **“Tratamento de água para abastecimento por filtração direta”**. São Carlos: RiMa. 2003.

DI BERNARDO, L. Teoria da Filtração. **Revista DAE**. Edição nº 123, 1980.

DI BERNARDO, L., BRANDÃO, C.C.S, HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. 121p. 1999

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Editora RiMa, 2005.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de Tratamento de Água**. São Carlos: Cubo, 2008. 2 v.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL-PAZ, L. P. **Seleção de tecnologia de tratamento de água**. São Carlos: LDIBE LTDA, 2008.

DILORETO, Z. A. et al. Novel cost effective full scale mussel shell bioreactors for metal removal and acid neutralization. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 601–612, dez. 2016.

DNER (DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM) - **ME 195: Agregados – determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1997, 6p.

DREW, D. **Processos Interativos Homem – Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Editora Beltrand. 1986.

EAWAG/SANDEC. **Desinfecção solar da água: guia de aplicação do SODIS**. Duebendorf, Switzerland, 2002.

EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **European waters -- Assessment of status and pressures 2012**. Copenhagen, Denmark.

EEA, EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **European waters -- Assessment of status and pressures 2018**. Copenhagen, Denmark.

ELHAG, M. et al. Assessment of water quality parameters using temporal remote sensing spectral reflectance in arid environments, Saudi Arabia. **Water** 11 (3), 556, 2019.

EPA. Basic Information on the CCL and Regulatory Determination. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ccl/basic-information-ccl-and-regulatory-determination>>. Acesso em: 25 de abril de 2023.

ESMAEILI, H.; TAMJIDI, S.; ABED, M. Removal of Cu (II), Co(II) and Pb(II) from synthetic and real wastewater using calcified Solamen Vaillanti snail shell. **Desalination And Water Treatment**, v. 174, p. 324–335, 2020.

FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. **Sustainability in action**. Rome, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>. Acesso em: 27 de abril de 2023.

FERREIRA, J. F.; MAGALHÃES, A. R. M. **Cultivo de mexilhões**. Em POLI, C. R.; POLLI, A. T.; ANDREATTA, E. & BELTRAME, E. (orgs). **Aquicultura – Experiências Brasileiras**. Editora Multitarefa, Florianópolis, p. 221-250. 2004.

FOGAÇA, J. R. V. **pH do solo**. Manual da Química. 2021. Disponível em: <https://www.manualdaquimica.com/curiosidades-quimica/phsolo.htm>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

FONSECA, P. V. S; MISTURA, C. M.; GALIAZZI, K. Quantificação de Íons de Origem Mineral por Fluorescência de Raios X Aplicada à Nutrição Animal - Uma Revisão. **Revista CIATEC-UPF**, v. 14, n. 3, 2022.

GARCIA, L. A. T. et al. Efficiency of a multi-barrier household system for surface water treatment combining a household slow sand filter to a Mesita Azul® ultraviolet disinfection device. **Journal of Environmental Management**, v. 321, p. 115948, nov. 2022.

GARCÍA-ÁVILA, F. et al. The challenge of improving the efficiency of drinking water treatment systems in rural areas facing changes in the raw water quality. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 37, p. 141–149, jul. 2021.

GOMES, F. T. et al. Influência de doses de calcário com diferentes relações cálcio: magnésio na produção de matéria seca e na composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1779-1786, 2002.

GONÇALVES, T. M.; FONSECA, A. F. **A economia circular como alternativa à economia linear**. XI SIMPROD, 2019.

GOSLING, E. The mussel *Mytullus*: ecology, physiology, genetics and culture. London, Elsevier. **Developments in aquaculture and fisheries Science**, v 25, 589 p. 1992.

GROTT, S. L. et al. Variação espaço-sazonal de parâmetros da qualidade da água subterrânea usada em consumo humano em Macapá, Amapá, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.** v. 23, n. 4, p. 645–654, 19 dez. 2018.

HATVA, T. Treatment of Groundwater with Slow Sand Filtration. **Water Science and Technology**, v. 20, n. 3, p. 141–147, mar. 1988.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. (Orgs.). **Abastecimento de água para consumo humano**. 2ª edição rev. e atual. – Volume 2 – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

HERMANN, Carla. **Buscar Vitruvius nos trópicos: percepções de viajantes ingleses da primeira metade do século XIX sobre o Aqueduto da Carioca**. Concinnitas, Rio de Janeiro, v. 2, n. 21, 2012.

HERZIG, J. P.; LECLERC, D. M.; P. LE. GOFF. Flow of Suspensions through Porous Media—Application to Deep Filtration. **Industrial & engineering chemistry**, v. 62, n. 5, p. 8–35, 1 maio 1970.

HERREIRA, B. N.; PIZELLA, D. G. Gestão da qualidade hídrica na bacia hidrográfica do Rio Tietê (SP): dificuldades para o enquadramento das águas doces superficiais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 332, 17 jul. 2020.

HOPPE, J. et al. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal, difração de raios-X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, 2017.

HOWE, K. J. et al. **Princípios de Tratamento de Água**. Cengage Learning Brasil, 2016.

HUISMAN, L; Wood, W. E. **Slow sand filtration** / L. Huisman, W. E. Wood. World Health. 122p. 1974.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha de Setores Censitários | IBGE**. (2021). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da Pecuária Municipal, Tabela 3940 - Produção da aquicultura, por tipo de produto**. 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>>. Acesso em: 27 de abril de 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB. **Tabela 44**. 2017. Disponível em: <https://www.inege.gov.br/estatisticas/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html>. Acesso em: 10 mar. 2023.

ICMBio, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Rebio de Santa Isabel**. 2015. Disponível em: <<https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/rebio-de-santa-isabel>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

IVES, K. J. Review paper rapid filtration. **Water Research**, v. 4, p. 23, 1970.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*. Elsevier B. V. 2017.

KOHNE, R. W.; LOGSDON, G. S. **Slow Sand Filtration**. p. 3, 2004.

LADEIRA, L. et al. Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 307–317, 1 dez. 2005.

LI, M. et al. The antibacterial activity and mechanism of mussel shell waste derived material. **Powder technology**, v. 264, p. 577-582, 2014.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3º ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4o ed. Campinas: Átomo, 2016.

LIMA, A. J. **Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Universidade Federal de Sergipe. 2020.

LOPES, L. K. O. et al. Complex design of surgical instruments as barrier for cleaning effectiveness, favouring biofilm formation. **The Journal of Hospital Infection**, London, v. 103, n. 1, p. e53-e60, Sept. 2019.

MACARTHUR, E. Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector. **Ellen MacArthur Foundation**, p. 1-112, 2013.

MACIEL, P. M. F. **Filtração lenta domiciliar como alternativa de tratamento de água em comunidades isoladas: eficiências com e sem controle de nível da água e aceleração do amadurecimento**. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2018.

MADANI, K. Game theory and water resources. **Journal of Hydrology**, v. 381, p. 225–238, 2010.

- MALISKA, A. M. **Microscopia Eletrônica de Varredura**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de caracterização microestrutural e análise de imagens. Apostila. Disponível em < [http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV\\_Apostila.pdf](http://www.usp.br/nanobiodev/wp-content/uploads/MEV_Apostila.pdf) >
- MARANI, P. F.; OLIVEIRA, T. A. L. DE; SÁ, M. B. Z. **Concepções sobre cinética química: a influência da temperatura e da superfície de contato**. ACTIO: Docência em Ciências, v. 2, n. 1, p. 321, 22 ago. 2017.
- MARENZI, A. W. C.; CASTILHO-WESTPHAL, G. G. **Cultivo de organismos aquáticos – Malacocultura**. Curitiba- PR, 2011.
- MARTINS, D. D. **Casca de sururu como alternativa de correção do pH no solo e fonte de cálcio e magnésio na cultura do rabanete agroecológico**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL. 2018.
- MATA, A. M. T. et al. Casca de Ostra: tendências recentes dos usos ambientais visando à economia circular. **Cadernos de Prospecção**, v. 12, n. 4, p. 849, 28 dez. 2019.
- MCLACHLAN, D. J. **X-Ray Crystal Structure**, 1a ed.; McGraw-Hill: New York, USA, 1957.
- MENEZES, R. C.; JUSTINO MARQUES, S. K.; MARQUES DE SOUZA, R. F. Development of masonry mortar with discarded sururu shells from the Mundaú-Manguaba lagoon estuary complex, Brazil. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 8, p. 100502, jun. 2022.
- MICHELAN, D. C. G. dos S. **Filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta, para remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano**. 2010. 342 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- MIRANZI, M. A. S. et al. Compreendendo a história da saúde pública de 1870-1990. **Saúde Coletiva**, São Paulo, v. 7, n. 41, p. 157-162, 2010.
- MONTEIRO, R. J. R. et al. Sustainable approach for recycling seafood wastes for the removal of priority hazardous substances (Hg and Cd) from water. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1199–1208, mar. 2016.
- MORAIS, R. D. M. et al. Produção e desempenho de carvão ativado fisicamente a partir de *Bambusa vulgaris*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, n. 1, 28 mar. 2019.
- MU, X. Inventor. Mu Xuefeng. Titular. **Preparation method of oyster water**. Patente chinesa CN106186468, 2016.
- MURRAY, A.; SKENE, K; HAYNES, K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 1 fev. 2017.
- MURTHA, N. A.; HELLER, L. Avaliação da influência de variáveis hidráulicas, parâmetros de projeto e das características da água bruta na eficiência de filtros lentos de areia. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 257–267, 2003.
- NAZARETH, L. P. T. et al. **Desenvolvimento de método para quantificação de metais e metalóides em amostras de fígado bovino in natura por espectrometria de fluorescência**

**de raios-x por reflexão total.** Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Química da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2023.

OLIVEIRA, F. E. de. **Estatística e probabilidade - exercícios resolvidos e propostos.** 3.ed. LTC, 2017.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável** | As Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 de março de 2023.

OXFORD LANGUAGES. **Portuguese | Oxford Languages.** Disponível em: <<https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/>>. Acesso em: 25 de abril de 2023.

PACINI, V. A.; INGALLINELLA, M. A.; SANGUINETTI, G. Removal of iron and manganese using biological roughing up flow filtration technology. **Water Research**, v. 39, n. 18, p. 4463–4475, nov. 2005.

PÁDUA, V. L. DE. **Introdução ao tratamento de água.** In: UFMG (Ed.); Abastecimento de água para consumo humano 2. 2nd ed., p.531–583, 2010. Belo Horizonte: UFMG.

PAIVA, A. L. R. **O processo de Filtração em Margem e um Estudo de Caso no rio Beberibe.** Universidade Federal de Pernambuco, Doutorado em Engenharia Civil – Área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Tese de Doutorado. Recife – PE, 2009.

PASINI, F.; DAMKE, T. A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil. **Revista Eletrônica TECCEN**, v. 13, n. 1, p. 8-15, 2020.

PATINO, C. M.; FERREIRA, J. C. Confidence intervals: a useful statistical tool to estimate effect sizes in the real world. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 41, n. 6, p. 565–566, dez. 2015.

PAULA, S. M. **Uma abordagem de parâmetros da biomineralização em um sistema constituído por carbonato de cálcio.** Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Física da USP. São Paulo, 2006.

PIZZOLATTI, B. S. **Estudos de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2010.

PORTUGAL. **Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto de 2007.** Diário da República.

PURCHON, R.D. **The biology of the mollusca.** Pergamon Press, Oxford. 1968.

QUINTELA, D. U. **Utilização da Concha De Sururu (Mytella Falcata) na Remoção de Corantes de Solução Aquosa.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas. 2020.

RANA, A.; PARMAR, M. Y.; ANITA RANA, C. **Ultrasonic processing and its use in food industry: A review.** International Journal of Chemical Studies IJCS, v. 5, n. 56, p. 1961–1968, 2017.

RAY, C. GRISCHEK, T. SCHUBERT, J. WANG, J. SPETH, T. A perspective of riverbank filtration. **American Water Works Association Journal**, v.94, n.4, Technology Collection, p. 149, 2002.

RECESA. **Abastecimento de água: construção, operação e manutenção de redes de distribuição de água: guia do profissional em treinamento: nível 1**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte, 2008.

REIS JÚNIOR, J. J. C. et al. Morphometric analysis and meat yield of Mytilidae caught in the state of Sergipe. **Scientia Plena**, v.12, n.12, p.1-11, 2016.

REZENDE, S. C.; HELLER, L. **O saneamento no Brasil: Políticas e interfaces**. Belo Horizonte: UFMG, 2002.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo, SP: Blucher, 2009.

RICHTER, C. A. **Tratamento de água**. Editora Blucher, 1991.

RIMAR, K. K. “**Avaliação da capacidade da concha do marisco *Anomalocardia brasiliana* em adsorver ferro em amostras de águas subterrâneas**”. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal da Paraíba. 2013.

ROCHA JÚNIOR, F. R.; MICHELAN, D. C. G. S.; ROSA, T. S. **Estudo Prévio de Viabilidade do Uso de Conchas de Sururu no Tratamento de Água**. XV – Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe. Aracaju, 2023.

ROCHA, A. **Histórias do saneamento**. Editora Blucher, 2016.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Introdução à química ambiental**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

ROSA, R. de C. C. **Impacto do cultivo de mexilhões nas comunidades pesqueiras de Santa Catarina**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação de Mestrado em Aqüicultura, 1997.

SABOGAL-PAZ, L.P., CAMPOS, L.C., BOGUSH, A., Canales, M. Household slow sand filters in intermittent and continuous flows to treat water containing low mineral ion concentrations and bisphenol A. **Sci. Total Environ**. 2020.

SACKTON, J. **Outlook for Oysters in the US Market and Beyond, Seafood Data search Summerside**, PEI February 22, 2018.

SAFE. Drinking water and health. 9 Selected issues in risk assessment. [s.l.] Washington, D.C. **National Academy Pr**, 1989.

SALIM, N. A. et al. Adsorption of phosphate from aqueous solutions using waste mussel shell. **MATEC Web of Conferences**, v. 250, p. 06013, 2018.

SANTANA, J. L. **História do Saneamento Básico em Sergipe**. 2ª. ed. Aracaju: J. Andrade, 2014. v. 1. 584p.

SANTIAGO, G. et al. Panorama do Plano Municipal de Saneamento Básico de Santo Antônio do Rio Abaixo, Minas Gerais. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 3, p. 01-20, 2019.

SANTOS, C. S. **Monitoramento tecnológico, usos potenciais e perspectivas de negócios com o sururu das Alagoas**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional de Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia. Universidade Federal de Alagoas, dez. 2019.

SANTOS, T. S.; LIMA, A. J.; MICHELAN, D. C. G. S. Perspectivas sobre o uso de materiais alternativos no tratamento de água: revisão sistemática desenvolvida em filtros lentos. **Revista brasileira de meio ambiente**, 9(2), 121–139, 2021.

SÃO PAULO. **Decreto N. 233, de 2 de março de 1894**. Estabelece o Código Sanitário. Diário Oficial. 1894.

SARI, N. R. P. et al. Ability of chitosan membrane from blood clam (*Anadara granosa*) shells to removal iron level (Fe) in water. **International Journal of Public Health Science (IJPHS)**, v. 10, n. 2, p. 330, 1 jun. 2021.

SCAPIN, M. A. et al. Espectrometria de fluorescência de raios X. **International Joint Conference Radio**. 2022.

SCHWANKE, C. **Ambiente: Tecnologias**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman Grupo A. 1. 270p 2013.

SCLIAR, M. **Do mágico ao social: trajetória da saúde pública**. 1 ed. São Paulo: SENAC São Paulo. 1987.

SECKLER, S. **Tratamento de Água - Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento**. Grupo GEN, 2017.

SEMTUR. Secretaria Municipal de Turismo. **Projeto Maceió Mais Inclusiva através da Economia Circular**. Prefeitura Municipal de Maceió. 2017.

SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; MONDARDO, R. I.; MELO FILHO, L. C. **Filtração em margem**. In: Pádua, V. L. (coord). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES- Prosab 4, p.173- 236, 2006.

SILVA, C. DE O. et al. Estudo do uso de conchas de sururu (*Mytella falcata*) no controle de pH da manipueira em reator anaerobio UASB. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 4, n. 2, p. 111–118, 31 jan. 2014.

SILVA, D. **Resíduo sólido da malacocultura: caracterização e potencialidade de utilização de conchas de ostras (*Crassostrea gigas*) e mexilhão (*Perna perna*)**. Dissertação (mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da UFSC, 2007.

SILVA et al. Análise da eficiência da filtração lenta para o tratamento de água de uma nascente situada na zona rural de Passabém – MG. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 6, p. e676184–e676184, 30 jan. 2018.

SILVA, T. P.; SILVA, G. N.; DANTAS FILHO, F. F. Análise de uma unidade de ensino potencialmente significativa, auxiliada pelo uso das Tecnologias da Informação e Comunicação para o estudo da cinética química. **Revista Tecnologias na Educação**, v. 7, n. 12, jul. 2015.

SILVA, R. F. A Difração de Raios X: uma técnica de investigação da estrutura cristalina de materiais. **Revista Processos Químicos**, v. 14, n. 27, p. 73-82, 2020.

SILVA, T. S. et al. Kinetics, isotherm, and thermodynamic studies of methylene blue adsorption from water by Mytella falcata waste. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 24, p. 19927-19937, 2017.

SOUTO, R. T. et al. Estudo comparativo de modelos de determinação da alcalinidade em amostras de água subterrânea. Anais do congresso brasileiro de águas subterrâneas, Bonito, MT, Brasil, 2014.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de Análise Instrumental**, 6ª ed., Bookman: São Paulo, SP, 2009.

SMEWW. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 23ª ed. 2017.

ŚMIECH, K. et al. Comparing Mixed-Media and Conventional Slow-Sand Filters for Arsenic Removal from Groundwater. **Water**, v. 10, n. 2, p. 119, 2018.

SOLÍS-CASTRO, Y., ZÚÑIGA-ZÚÑIGA, L. A., MORA-ALVARADO, D. “La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica”. **Revista Tecnología en Marcha**, 31(1), 35-46, 2018.

SOUZA, F. G. C. **Ocorrência de sólidos e metais na água tratada e nos resíduos gerados em ETA convencional de ciclo completo com descargas diárias**. Tese de doutorado apresentado ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 2004.

SOUZA, F. S. **O saneamento básico na história da humanidade**. Universidade Federal de Campina Grande, 2009. Disponível em: <[https://www.senado.leg.br/comissoes/ci/ap/AP20091130\\_FranciscodeAssisSalvianodeSousa.pdf](https://www.senado.leg.br/comissoes/ci/ap/AP20091130_FranciscodeAssisSalvianodeSousa.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2023.

SOUZA, F. H. et al. Diagnóstico e discussão sobre uso da Filtração Lenta para abastecimento público em Santa Catarina, Brasil. **Revista DAE**, 209(66). 2017.

SOUZA, J. V. R. de et al. **Filtros Lentos Domiciliares (FLDs) aplicado ao tratamento de água em comunidades isoladas: uma breve revisão crítica**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Anhembí Morumbi. São Paulo, 2022.

SOUZA, W. A. **Tratamento de Água**. Natal: Editora CEFET/RN. 2007.

SUN, C. et al. Characterization of Citric Acid-Modified Clam Shells and Application for Aqueous Lead (II) Removal. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, n. 9, 4 ago. 2016.

TAKASSUGUI, K. S.; ARANTES, C. C.; JESUS, T. A. DE. Comparação da remoção de turbidez e cor aparente em filtros lentos de areia com e sem adição de proteína imobilizada de

Moringa oleifera. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 4, n. 2, p. 169, 30 set. 2019.

TAVARES, G. H. et al. Inatividade física no lazer durante a pandemia da COVID-19 em universitários de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, v. 25, p. 1-7, 2020.

TEIXEIRA, J. L. **Obtenção e caracterização de carvão ativado a partir da casca de coco verde**. Dissertação de mestrado apresentada Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS. 2020.

TIAN, Y.; WU, J. Uma análise abrangente da área BET para materiais nanoporosos. **Revista AICHE**, v. 1, pág. 286-293, 2018.

TINÔCO, J. D. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica**. Tese de doutorado apresentado ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 10 fev. 2012.

TONG, S. et al. Effect of oyster shell medium and organic substrate on the performance of a particulate pyrite autotrophic denitrification (PPAD) process. **Bioresource Technology**, v. 244, p. 296–303, nov. 2017.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3ª edição - São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. XIII - 643 p.

UN, Water. **The United Nations World Water Development Report ‘Valuing Water’**; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. 2021.

VALENCIA, J. A. **Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua**. Lima: CEPIS, 1972. v. 13.

VIEIRA, J. M. P. **Água e saúde pública**. Edições Sílabo, 2018.

VIEIRA, M. E. M. et al. Espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) acoplada ao microscópio eletrônico de varredura (MEV): fundamentos e aplicações em produtos lácteos. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, p. e262101018622, 10 ago. 2021.

VILHOLTH, K. **Cleaning and disinfecting wells**. Genebra, 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFGM, 452p. 2014.

VOULVOULIS et al. The EU Water Framework Directive: from great expectations to problems with implementation. **Sci. Total Environ.** Pp. 358-366, 2017.

VU, C. T.; WU, T. Enhanced Slow Sand Filtration for the Removal of Micropollutants from Groundwater. **Science of The Total Environment**, v. 809, p. 152161, 2022.

WATER, U. N. Groundwater: Making the invisible visible. **The United Nations World Water Development Report**, 2022.

WHATELY, M.; LERER; R.; JARDIM; A. **Saneamento 2020: Passado, Presente e Possibilidades de Futuro para o Brasil**. São Paulo: Instituto Água e Saneamento (IAS), 2020.

WHO. **Emergency treatment of drinking water at point-of-use**. Disponível em: [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/who-tn-05-emergency-treatment-of-drinking-water-at-the-point-of-use.pdf?sfvrsn=99f943f6\\_4#:~:text=One%20simple%20method%20for%20householders,any%20suspended%20particles%20to%20settle](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/who-tn-05-emergency-treatment-of-drinking-water-at-the-point-of-use.pdf?sfvrsn=99f943f6_4#:~:text=One%20simple%20method%20for%20householders,any%20suspended%20particles%20to%20settle). Acesso em: 20/05/2023.

WORMA, F. **Desenvolvimento de um filtro lento bifluxo com retrolavagem**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

XU, A. et al. Towards the new era of wastewater treatment of China: development history, current status, and future directions. **Water Cycle**, 1, 80-87, 2020.

**Apêndice A – Dados para elaboração da curva granulométrica**

Peneiras (mm)	Retida (g)	Passante (g)	% Retida	% Passante
76,2	0	2217,69	0	100
38	0	2217,69	0	100
19	0	2217,69	0	100
9,52	56,59	2161,1	2,55	97,45
4,75	99,04	2062,06	7,02	92,98
2,36	131,54	1930,52	12,95	87,05
1,18	171,56	1758,96	20,69	79,31
0,59	535,33	1223,63	44,82	55,18
0,3	961,64	261,99	88,19	11,81
0,15	225,74	36,25	98,37	1,63
Fundo	32,56	0	99,83	

**Apêndice B – Dimensões (comprimento e largura) das conchas de sururu.**

Exemplar	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Exemplar	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Exemplar	Comprimento (mm)	Largura (mm)
1	65,73	35,2	35	62,82	29,84	69	54,86	25,67
2	52,47	25,51	36	59,06	29,7	70	62,88	31,52
3	34,68	16,66	37	62,5	29,77	71	37,55	18,11
4	35,01	16,79	38	53,25	25,43	72	54,09	27,58
5	43,34	22,88	39	56,7	28,33	73	42,62	19,27
6	33,38	16,54	40	54,42	24,71	74	54,9	24,98
7	41,93	19,46	41	48,26	22,31	75	44,95	20,77
8	51,47	26,41	42	57,06	24,94	76	62,39	29,69
9	61,59	28,67	43	55,69	25,94	77	47,8	23,58
10	59,4	29,4	44	56	26,04	78	52,02	24,75
11	33,02	16	45	65,85	34,77	79	48,67	23,11
12	34,15	16,9	46	56,85	26,44	80	61,13	29,07
13	34,73	17,13	47	46,9	22,5	81	47,52	23,49
14	66,17	28,15	48	48,8	23,26	82	51,57	24,78
15	58,7	26,2	49	58,3	25,73	83	61,91	28,48
16	33	16,04	50	63,75	30,58	84	47,93	21,02
17	44,97	20,85	51	46,13	22,36	85	58,48	28,09
18	48,82	23,82	52	35,8	18,39	86	54,67	26,54
19	62,48	28,58	53	61,87	32,44	87	45,7	20,12
20	64,87	30,35	54	67,23	31,4	88	52,67	25,25
21	60,74	30,35	55	59,39	27,68	89	56,95	27,02
22	69,71	33,84	56	58,35	28,73	90	37,6	18,37
23	53,21	26,16	57	51,9	25,69	91	58,39	28,96
24	64,09	29,74	58	60,23	27,92	92	55,06	25,84
25	54,34	27,11	59	47,14	21,15	93	56,95	24,86
26	57,02	24,6	60	72,4	37,88	94	67,11	30,43
27	56,24	26,25	61	74,17	34,46	95	64,06	32,43
28	59,44	30,52	62	60	27,53	96	63,66	28,36
29	65,79	27,78	63	62,05	28,06	97	50,63	25,37
30	61,53	30,36	64	63,83	26,29	98	60,19	30,66
31	43,44	22,29	65	49,72	26,7	99	58,55	27,89
32	59,45	31,35	66	71,04	31,86	100	65,24	31,11
33	33,35	16,74	67	73,98	34,18			
34	51,46	24,67	68	50,3	25,24			

**Apêndice C – Conferência de dimensões de brita.**

Exemplar	Brita 1 (mm)	Brita 2 (mm)	Brita 3 (mm)
1	17,25	22,28	29,94
2	22,50	22,49	26,43
3	15,66	19,52	28,64
4	15,26	25,40	21,18
5	16,56	28,04	29,50
6	17,44	22,48	22,57
7	17,95	22,70	28,04
8	19,07	20,92	22,68
9	20,83	28,37	31,50
10	25,52	23,17	34,89
11	14,09	24,13	30,35
12	13,35	20,80	34,54
13	15,55	24,99	24,89
14	13,28	25,86	32,50
15	17,36	24,62	25,24
16	19,39	26,11	31,34
17	16,42	22,85	38,92
18	21,51	23,03	21,94
19	14,25	23,29	21,22
20	14,60	27,90	23,68
21	16,63	23,25	26,35
22	15,53	19,61	23,25
23	13,38	18,46	27,24
24	20,78	25,17	26,80
25	18,73	22,58	25,53
26	12,25	23,85	27,29
27	16,42	17,50	22,16
28	16,34	22,95	23,60
29	16,04	22,47	25,62
30	15,79	28,38	20,30
Média	16,99	23,44	26,94

**Apêndice D – Resultados dos ensaios de cor (uH) em água bruta e filtrada.**

Cor (uH)					
Data do Ensaio	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
25/fev	45	45	66	81	60
28/fev	70	49	43	95	61
03/mar	55	38	70	65	70
06/mar	41	33	35	59	40
09/mar	60	45	59	62	64
14/mar	68	82	28	68	62
16/mar	43	33	20	32	43
21/mar	48	41	52	52	39
23/mar	47	95	18	69	49
28/mar	95	57	31	52	32
30/mar	51	59	36	52	33
04/abr	74	49	54	48	51
06/abr	38	32	33	34	33
11/abr	58	31	37	35	23
13/abr	51	65	38	54	82
18/abr	26	29	17	42	59
20/abr	18	22	26	22	39
26/abr	36	38	25	43	34
28/abr	30	42	52	40	34
02/mai	51	42	42	43	53
05/mai	61	31	39	34	36
09/mai	33	44	25	48	36
11/mai	43	37	34	48	62
15/mai	40	23	18	38	48
19/mai	19	25	25	34	45
23/mai	45	41	43	37	72
25/mai	53	49	25	35	50
30/mai	33	32	25	28	39
01/jun	37	32	31	39	43
04/jun	46	33	20	30	62
10/jun	30	31	25	42	22
13/jun	32	25	33	38	41
16/jun	28	24	22	31	51
20/jun	30	29	10	37	40
22/jun	35	21	32	41	37
27/jun	37	62	23	30	42
04/jul	27	44	21	29	50
06/jul	47	58	30	64	31
11/jul	45	47	28	49	46
26/jul	52	35	52	32	38
01/ago	25	19	26	27	33
03/ago	5	25	17	33	23
08/ago	39	25	33	54	42
11/ago	40	43	10	28	28
16/ago	21	25	21	37	31

18/ago	34	24	19	57	33
22/ago	41	32	18	26	47
24/ago	22	45	28	25	35
29/ago	36	40	24	20	33
31/ago	20	14	17	28	30
05/set	23	22	21	27	38
06/set	26	12	8	12	31
13/set	32	16	10	88	52
18/set	31	39	18	42	42
21/set	16	42	31	27	56
26/set	6	10	5	7	37
29/set	39	11	10	19	72
03/out	20	15	10	23	60
05/out	29	16	20	16	72
09/out	19	28	24	19	58
13/out	22	13	16	23	71
16/out	10	23	32	23	61
04/nov	55	50	26	42	146
08/nov	46	39	32	37	100
11/nov	12	25	25	43	96
14/nov	13	0	0	0	24
16/nov	36	49	42	38	69
20/nov	49	41	25	28	66
23/nov	14	46	14	19	40
27/nov	26	18	15	19	55
01/dez	37	36	33	37	44
05/dez	33	16	14	21	89
06/dez	20	24	16	19	56
13/dez	38	37	10	25	47
14/dez	29	39	21	10	49

**Apêndice E – Resultados dos ensaios de turbidez (uT) em água bruta e filtrada.**

Turbidez (uT)					
Data do Ensaio	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
25/fev	4	5	6	10	8
28/fev	9	1	4	7	3
03/mar	5	3	8	6	4
06/mar	6	2	8	4	3
09/mar	7	2	6	6	6
14/mar	8	12	8	4	2
16/mar	4	0	0	2	1
21/mar	4	3	3	5	2
23/mar	6	13	0	6	4
28/mar	9	6	2	5	2
30/mar	2	5	2	5	2
04/abr	8	3	5	8	3
06/abr	5	3	2	1	2
11/abr	6	4	0	4	0
13/abr	7	5	2	5	8
18/abr	1	2	0	5	6
20/abr	1	0	0	1	2
26/abr	4	6	0	0	0
28/abr	2	4	4	5	4
02/mai	4	3	3	5	5
05/mai	7	4	1	3	3
09/mai	3	6	1	5	3
11/mai	0	5	4	1	3
15/mai	0	0	2	3	2
19/mai	2	2	1	2	4
23/mai	2	3	3	0	5
25/mai	5	5	4	4	3
30/mai	5	3	2	1	3
01/jun	4	3	4	2	3
04/jun	4	2	2	3	7
10/jun	2	3	1	5	3
13/jun	0	5	4	5	3
16/jun	4	2	2	5	6
20/jun	4	2	0	5	3
22/jun	3	0	2	4	5
27/jun	4	6	2	5	2
04/jul	2	3	3	0	7
06/jul	1	5	3	6	1
11/jul	0	3	1	5	6
26/jul	1	4	2	5	3
01/ago	0	0	0	3	2
03/ago	0	0	1	0	1
08/ago	4	1	1	1	6
11/ago	3	5	0	2	1
16/ago	3	0	1	0	2

18/ago	0	5	0	5	2
22/ago	4	1	1	0	3
24/ago	0	1	2	3	2
29/ago	3	2	0	2	1
31/ago	0	0	0	2	2
05/set	2	1	0	2	4
06/set	4	1	2	0	2
13/set	4	2	2	11	4
18/set	0	4	0	3	4
21/set	1	4	2	3	1
26/set	0	0	1	1	3
29/set	1	0	2	1	7
03/out	3	2	2	0	0
05/out	1	0	0	1	5
09/out	0	2	3	2	3
13/out	1	0	3	0	2
16/out	0	0	4	1	2
04/nov	3	3	3	4	10
08/nov	6	4	4	2	9
11/nov	0	0	1	3	11
14/nov	2	0	0	0	1
16/nov	3	2	3	4	3
20/nov	3	1	1	3	5
23/nov	0	1	1	1	5
27/nov	0	1	2	0	5
01/dez	2	3	1	1	4
05/dez	1	0	1	2	6
06/dez	3	2	0	1	5
13/dez	2	2	1	0	7
14/dez	3	3	0	1	5

**Apêndice F – Resultados dos ensaios de dureza (mg/L) em água bruta e filtrada.**

Dureza (mg/L)					
Data do Ensaio	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
25/fev	946,09	50,42	52,98	62,38	48,71
28/fev	1044,70	49,56	52,13	58,11	44,44
03/mar	47,00	49,56	47,85	59,82	44,44
06/mar	44,44	50,42	57,26	59,82	43,58
09/mar	41,87	47,00	52,98	66,66	41,87
14/mar	58,96	64,09	69,22	67,51	58,96
16/mar	49,56	52,98	67,51	59,82	43,58
21/mar	51,38	57,55	55,50	67,83	53,44
23/mar	55,50	58,58	59,61	76,05	53,44
28/mar	51,38	55,50	61,66	63,72	55,50
30/mar	49,33	57,55	59,61	63,72	51,38
04/abr	51,38	59,61	57,55	59,61	51,38
06/abr	51,38	53,44	59,61	69,88	49,33
11/abr	49,33	57,55	55,50	63,72	49,33
13/abr	50,36	54,47	58,58	62,69	50,36
18/abr	45,35	47,13	48,91	52,47	44,46
20/abr	45,35	46,24	53,36	54,25	45,35
26/abr	44,46	48,02	53,36	54,25	45,35
28/abr	45,35	45,35	49,80	49,80	44,46
02/mai	44,46	47,13	54,25	55,14	44,46
05/mai	43,57	43,57	48,02	48,02	42,68
09/mai	53,24	54,30	59,63	59,63	52,17
11/mai	52,17	54,30	59,63	61,75	51,11
15/mai	48,98	51,11	63,88	63,88	51,11
19/mai	48,98	53,24	76,66	66,01	51,11
23/mai	51,11	55,37	61,75	66,01	51,11
25/mai	48,98	59,63	95,83	78,79	53,24
30/mai	48,98	51,11	55,37	57,50	51,11
01/jun	48,98	51,11	61,75	57,50	51,11
04/jun	46,85	51,11	53,24	55,37	48,98
10/jun	46,85	55,37	63,88	59,63	46,85
13/jun	46,85	48,98	55,37	55,37	46,85
16/jun	46,85	48,98	51,11	55,37	46,85
20/jun	46,85	46,85	53,24	53,24	44,72
22/jun	44,72	51,11	51,11	53,24	44,72
27/jun	51,11	59,63	63,88	66,01	44,72
04/jul	51,11	55,37	57,50	63,88	46,85
06/jul	46,85	46,85	59,63	53,24	42,59
11/jul	42,59	46,85	55,37	46,85	42,59
26/jul	44,72	44,72	61,75	57,50	44,72
01/ago	40,46	44,72	48,98	48,98	44,72
03/ago	42,59	42,59	48,98	53,24	42,59
08/ago	40,46	44,72	48,98	55,37	44,72
11/ago	42,59	53,24	46,85	51,11	42,59
16/ago	42,59	42,59	44,72	46,85	42,59

18/ago	34,28	35,99	34,28	37,71	35,99
22/ago	32,56	34,28	34,28	39,42	35,99
24/ago	35,99	39,42	42,85	44,56	34,28
29/ago	34,28	41,13	37,71	53,13	34,28
31/ago	34,28	39,42	37,71	51,42	34,28
05/set	35,99	39,42	37,71	53,13	35,99
06/set	35,99	37,71	39,42	49,70	35,99
13/set	35,99	39,42	39,42	46,28	37,71
18/set	42,85	46,28	47,99	56,56	39,42
21/set	37,70	41,13	37,71	47,99	37,71
26/set	39,44	39,42	42,85	54,85	39,42
29/set	39,44	41,13	41,13	51,42	39,42
03/out	41,18	42,85	46,28	63,42	39,42
05/out	39,42	44,56	42,85	58,27	41,13
09/out	39,42	41,13	42,85	63,42	39,42
13/out	39,42	41,13	46,28	44,56	37,71
16/out	39,42	46,28	49,70	66,84	39,42
04/nov	41,13	46,28	46,28	53,13	41,13
08/nov	37,71	42,85	51,42	63,42	41,13
11/nov	39,42	42,85	47,99	53,13	42,85
14/nov	41,13	42,85	44,56	49,70	41,13
16/nov	39,42	44,56	44,56	51,42	41,13
20/nov	39,42	42,85	47,99	49,70	39,42
23/nov	39,42	47,99	46,28	58,27	39,42
27/nov	39,42	51,42	47,99	54,85	39,42
01/dez	39,42	44,56	51,42	53,13	39,42
05/dez	39,42	44,56	39,42	54,85	41,13
06/dez	39,42	41,13	51,42	51,42	37,71
13/dez	37,71	41,13	46,28	54,85	37,71
14/dez	40,30	43,80	52,56	57,82	43,80

**Apêndice G – Resultados dos ensaios de pH em água bruta e filtrada.**

pH					
Data do Ensaio	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
25/fev	6,80	6,60	6,70	7,00	6,50
28/fev	7,00	7,00	7,00	7,20	6,80
03/mar	7,20	7,90	8,20	8,30	7,20
06/mar	7,40	8,00	8,00	8,50	7,60
09/mar	7,20	7,50	7,60	7,80	7,10
14/mar	8,10	8,10	8,10	8,10	8,10
16/mar	7,70	7,80	7,80	7,80	7,60
21/mar	7,50	7,70	7,60	7,70	7,30
23/mar	7,40	7,40	7,40	7,50	7,60
28/mar	8,20	8,00	8,10	8,10	8,00
30/mar	7,90	7,60	7,60	7,70	8,10
04/abr	7,70	7,80	7,70	7,80	7,70
06/abr	7,50	7,50	7,50	7,50	7,60
11/abr	7,70	7,60	7,70	7,70	7,80
13/abr	7,10	7,30	7,70	7,80	7,00
18/abr	7,40	7,40	7,50	7,50	7,50
20/abr	7,40	7,60	7,30	7,30	7,40
26/abr	7,60	7,70	7,50	7,30	7,40
28/abr	7,80	7,70	7,70	7,70	7,80
02/mai	8,20	8,10	8,00	8,40	8,00
05/mai	8,10	7,90	8,30	8,20	8,10
09/mai	7,90	8,20	8,00	8,00	8,00
11/mai	7,80	7,80	8,20	8,20	8,00
15/mai	7,20	7,30	7,30	7,40	7,20
19/mai	7,90	7,70	7,60	7,60	7,80
23/mai	7,60	7,60	8,00	8,00	7,80
25/mai	7,70	7,80	7,80	7,80	7,70
30/mai	8,00	8,10	8,00	8,00	8,10
01/jun	8,00	8,10	8,00	7,90	8,10
04/jun	8,30	8,40	8,40	8,30	7,90
10/jun	7,90	8,30	7,80	7,90	7,90
13/jun	8,20	8,30	8,30	8,30	8,10
16/jun	8,00	8,50	8,20	8,20	8,10
20/jun	8,30	8,30	8,20	8,20	8,30
22/jun	8,20	8,10	8,10	8,00	8,40
27/jun	7,90	8,20	7,80	7,80	7,90
04/jul	7,70	7,70	7,70	7,90	7,80
06/jul	8,30	8,20	8,00	8,10	8,10
11/jul	8,20	8,10	8,10	8,00	8,30
26/jul	7,80	7,70	7,80	8,10	7,80
01/ago	7,80	7,90	8,00	8,00	7,80
03/ago	7,60	7,60	7,60	7,80	7,50
08/ago	8,10	8,20	8,20	8,00	7,90
11/ago	8,00	8,10	7,80	8,00	7,90
16/ago	7,90	7,80	8,60	8,40	7,90

18/ago	8,10	7,80	7,70	7,90	7,80
22/ago	8,30	8,20	8,10	8,10	8,40
24/ago	7,50	7,60	7,80	7,90	7,20
29/ago	7,50	7,70	7,70	7,80	7,60
31/ago	7,40	7,50	7,60	7,70	7,20
05/set	8,10	8,30	8,40	8,10	7,80
06/set	8,20	7,90	7,80	8,10	7,90
13/set	8,00	8,00	8,00	8,00	7,60
18/set	8,00	8,00	8,10	7,90	8,00
21/set	8,00	7,90	7,90	8,20	7,50
26/set	8,20	7,80	8,00	7,90	8,00
29/set	7,90	8,00	7,70	7,90	7,50
03/out	7,90	8,10	7,90	7,90	7,80
05/out	7,50	7,50	7,60	7,60	7,40
09/out	7,50	7,70	7,90	7,60	7,20
13/out	7,40	7,50	7,70	7,50	7,00
16/out	6,80	7,00	7,20	7,10	6,50
04/nov	8,00	8,20	7,70	7,80	7,60
08/nov	7,60	7,50	7,50	7,60	7,60
11/nov	8,00	7,90	8,00	8,20	7,60
14/nov	7,40	7,60	7,60	7,90	7,50
16/nov	6,80	6,90	7,00	7,10	6,80
20/nov	6,80	6,90	7,50	7,70	6,80
23/nov	7,10	6,70	6,60	6,70	6,50
27/nov	6,80	6,70	6,70	6,70	6,70
01/dez	6,50	6,70	6,80	6,90	6,50
05/dez	7,10	7,00	7,00	7,20	6,50
06/dez	7,10	7,20	7,10	7,20	6,70
13/dez	7,30	7,30	7,30	7,30	6,90
14/dez	7,20	7,00	7,00	7,30	6,30

**Apêndice H – Resultados dos ensaios de temperatura (°C) em água bruta e filtrada.**

Temperatura (°C)					
Data do Ensaio	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
25/fev	27,80	27,60	27,60	27,20	28,60
28/fev	25,30	25,30	25,30	25,30	27,80
03/mar	27,70	26,30	26,30	26,00	28,30
06/mar	28,80	28,00	27,80	27,40	29,60
09/mar	29,40	29,30	29,30	29,50	30,10
14/mar	26,70	26,00	26,20	26,50	28,00
16/mar	23,90	24,00	23,90	24,10	24,10
21/mar	23,80	23,20	23,50	23,60	25,40
23/mar	23,90	23,20	23,30	23,70	24,60
28/mar	24,20	23,80	24,40	24,40	24,80
30/mar	25,50	25,70	25,20	25,40	26,60
04/abr	26,00	25,50	25,60	25,70	26,00
06/abr	27,60	27,90	27,60	27,70	28,00
11/abr	24,60	24,40	24,30	24,30	24,60
13/abr	26,00	25,40	25,00	25,00	26,50
18/abr	25,50	25,60	26,40	26,10	27,50
20/abr	27,00	27,20	26,90	27,00	27,20
26/abr	23,50	25,50	23,20	23,60	24,60
28/abr	23,00	23,30	22,80	22,90	23,40
02/mai	24,80	24,10	24,60	24,70	25,50
05/mai	23,90	23,70	24,20	24,10	26,00
09/mai	26,80	26,80	26,50	26,80	27,40
11/mai	26,70	26,40	25,20	25,20	26,10
15/mai	27,40	27,10	27,10	27,10	28,10
19/mai	23,10	23,00	22,80	22,90	24,10
23/mai	23,60	23,20	23,20	23,30	24,50
25/mai	23,80	23,60	23,50	23,50	24,40
30/mai	24,60	24,60	24,60	24,60	25,70
01/jun	23,10	23,00	23,10	23,00	23,40
04/jun	24,20	24,10	24,20	24,60	24,80
10/jun	25,10	24,60	24,80	25,10	26,00
13/jun	23,50	23,20	23,40	23,80	23,70
16/jun	23,80	23,50	23,60	23,50	24,10
20/jun	22,90	22,60	22,70	22,80	23,10
22/jun	22,80	22,70	22,60	22,70	22,90
27/jun	25,20	25,00	25,20	25,20	25,50
04/jul	25,20	24,30	24,60	24,60	26,20
06/jul	25,20	25,20	24,80	24,70	25,10
11/jul	22,40	22,40	22,30	22,40	22,50
26/jul	23,70	23,30	23,40	23,30	24,30
01/ago	23,80	23,50	23,80	24,30	23,90
03/ago	22,20	22,20	22,40	22,80	22,70
08/ago	23,20	23,50	23,00	23,20	23,10
11/ago	23,40	23,20	23,50	23,50	23,90
16/ago	23,10	23,20	23,20	22,60	23,50

18/ago	23,40	23,40	23,00	23,00	24,50
22/ago	23,70	23,40	23,90	23,80	24,30
24/ago	22,20	22,50	22,70	24,00	22,90
29/ago	21,40	21,30	21,40	22,40	21,80
31/ago	25,20	24,10	24,30	24,30	25,70
05/set	23,20	23,70	23,20	23,60	24,30
06/set	24,80	25,50	24,40	24,70	25,00
13/set	23,50	23,50	23,50	23,80	23,60
18/set	25,00	25,00	25,10	25,00	25,20
21/set	23,00	22,90	23,00	23,20	23,80
26/set	24,10	23,80	24,50	24,20	24,80
29/set	24,80	25,60	25,10	25,40	26,50
03/out	24,40	24,40	24,40	24,60	26,90
05/out	24,80	24,40	24,40	24,50	28,00
09/out	25,60	25,50	26,00	25,60	27,60
13/out	26,90	26,90	27,40	26,70	27,00
16/out	25,40	25,40	25,60	25,70	26,00
04/nov	27,70	27,70	27,80	27,80	27,70
08/nov	27,00	26,90	27,10	27,00	27,20
11/nov	27,60	28,00	27,80	28,50	27,70
14/nov	26,20	26,10	25,70	26,00	25,40
16/nov	26,50	26,50	26,60	26,70	26,70
20/nov	27,00	26,40	27,40	27,50	28,40
23/nov	26,90	26,60	27,10	27,10	27,70
27/nov	26,50	26,50	26,70	26,70	27,00
01/dez	26,30	27,00	26,10	26,40	27,50
05/dez	28,80	28,40	28,20	27,70	29,00
06/dez	26,20	26,10	25,70	26,00	25,40
13/dez	26,10	26,10	26,60	26,60	27,70
14/dez	27,70	27,00	26,80	26,70	27,00

**Apêndice I – Resultados dos ensaios de ferro total (mg/L) em água bruta e filtrada.**

Ferro (mg/L)					
Data da Coleta	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
10/mar	0,1460	0,0740	0,1090	0,1060	0,2220
10/abr	0,0990	0,1020	0,0290	0,0550	0,4050
15/mai	<0,0041	<0,0041	<0,0041	0,005	<0,0041
16/jun	0,1200	0,0900	0,0900	0,1000	0,0800
17/jul	0,0080	0,0070	<0,0041	0,0050	0,0710
17/ago	0,043	0,05	<0,0041	0,0560	0,3120
13/set	0,070	0,127	0,050	0,1870	0,1550
20/out	<0,0160	<0,0160	<0,0160	<0,0160	0,4360
14/nov	0,0650	0,1010	<0,0041	0,0130	0,3630
14/dez	<0,0041	0,0410	<0,0041	<0,0041	0,4320

**Apêndice J – Resultados dos ensaios de alumínio (mg/L) em água bruta e filtrada.**

Alumínio (mg/L)					
Data	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
17/mar	0,0028	0,0010	0,0013	0,0000	0,0172
11/abr	0,0040	0,0020	0,0027	0,0023	0,0059
10/mai	0,0018	0,0000	0,0000	0,0008	0,0077
15/jun	0,0022	0,0017	0,0010	0,0000	0,0054
12/jul	0,0065	0,0055	0,0000	0,0004	0,0017
11/ago	0,0000	0,0000	0,0008	0,0009	0,0028
18/set	0,0002	0,0000	0,0012	0,0003	0,0029
16/out	0,0017	0,0012	0,0003	0,0000	0,0049
17/nov	0,0009	0,0000	0,0011	0,0009	0,0031
14/dez	0,0030	0,0086	0,0022	0,0007	0,0086

**Apêndice K – Resultados dos ensaios de coliformes totais (NMP/100mL) em água bruta e filtrada.**

Coliformes Totais (NMP/100mL)					
Data do Ensaio	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
10/mar	13	14	11	13	22
10/abr	2	4	22	4,5	17
15/mai	2,2	2	<1,8	<1,8	49
16/jun	17	6,8	<1,8	7,8	70
17/jul	<1,8	<1,8	<1,8	6,8	17
17/ago	<1,8	2	<1,8	<1,8	7,8
12/set	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
16/out	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	20
13/nov	23	79	<1,8	2	140
14/dez	<1,8	2	<1,8	<1,8	130

**Apêndice L – Resultados dos ensaios de coliformes termotolerantes (NMP/100mL) em água bruta e filtrada.**

Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)					
Data do Ensaio	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4	Água Bruta
10/mar	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	17
10/abr	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	6,8
15/mai	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	13
16/jun	17	6,8	<1,8	7,8	70
12/jul	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	17
17/ago	<1,8	2	<1,8	<1,8	2
12/set	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
16/out	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	13
13/nov	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	17
14/dez	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	4,5