



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



ANA LARA ARAÚJO SANTOS

**EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA AO UTILIZAR
COAGULANTE QUÍMICO E COAGULANTE/FLOCULANTE NATURAL,
SEPARADAMENTE E ASSOCIADOS**

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2022

ANA LARA ARAÚJO SANTOS

**EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA AO UTILIZAR
COAGULANTE QUÍMICO E COAGULANTE/FLOCULANTE NATURAL,
SEPARADAMENTE E ASSOCIADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Sergipe, como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Denise Conceição de Gois
Santos Michelin

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



Ata de defesa

Ana Lara Araujo Santos

Eficiência do tratamento de água subterrânea ao utilizar coagulante químico e coagulante/floculante natural, separadamente e associados

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe como requisito para o título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 26 de maio de 2022

Banca examinadora

	Nota
Orientador(a): Profa. Dra. Denise Conceição de Gois Santos Michelan (UFS)	<u>10,0</u>
Examinador(a): Prof. Dr. Daniel Moureira Fontes Lima (UFS)	<u>9,5</u>
Examinador(a): Eng. Anderson de Jesus Lima	<u>9,5</u>

Declaro que este Trabalho de Conclusão do Curso foi apresentado por videoconferência, com anuência dos membros da banca, seguindo a Portaria nº 001/2020/CCET, de 17 de março de 2020.



Documento assinado digitalmente
Denise Conceicao de Gois Santos Michelan
Data: 31/05/2022 15:06:45-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profa. Dra. Denise Conceição de Gois Santos Michelan (UFS)
Orientador(a)

SANTOS, Ana Lara Araújo. **Eficiência do tratamento de água subterrânea ao utilizar coagulante químico e coagulante/floculante natural, separadamente e associados.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2022.

RESUMO

A maioria da população brasileira recebe água que foi tratada em Estação de Tratamento de Água (ETA), cuja coagulação é feita com coagulante químico, à base de sulfato de Alumínio. Entretanto, em diversas situações a água disponível para população não é adequada ao consumo humano tendo em vista que o poder público ainda não garante água a milhares de brasileiros. Na tentativa de mitigar essa situação, é possível tratar água por meio de soluções alternativas, sendo estas de aquisição fácil e acessíveis de tratamento. Assim, o presente estudo traz a abordagem pautada na eficiência do tratamento de água, seja com base em coagulante químico (sulfato de alumínio), seja com base em coagulante/floculante natural (*Abelmoschus esculentus*, mais conhecido como quiabo) ou com base na associação destes coagulantes. Portanto, o presente trabalho objetiva determinar a eficiência do tratamento de água subterrânea ao utilizar o coagulante químico (sulfato de alumínio) e coagulante/floculante natural (quiabo), juntos e separados. Os experimentos foram realizados em 8 campanhas de água subterrânea, na qual era adicionada lodo de ETA, analisadas para diferentes concentrações de coagulantes/floculantes, submetidas a ensaios em *Jar Test* (coagulação na mistura rápida, floculação e decantação) e à filtração. Foi feita a análise dos parâmetros físico-químicos da água bruta e tratada, de modo que os parâmetros aferidos foram a cor aparente, cor verdadeira, turbidez, pH, condutividade e temperatura, para avaliar o enquadramento ao padrão de potabilidade estabelecido na Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde (MS). Como resultados, o estudo demonstrou que quanto às dosagens adequadas, notou-se que as que promoveram melhores eficiências de remoção, sem causar muita oscilação na temperatura e deixando o pH dentro do limite estabelecido pela portaria, para o sulfato de alumínio (SA) foram de 2,0 mL e 6,0 mL da concentração adotada, para o pó do quiabo (QI) foi de 0,5 mL da concentração adotada e para estes associados (SAQI) foi de 2,0 mL, todas referentes a 2 L de água bruta. Com o uso do SA no tratamento de água, obteve-se eficiência de remoção de até 50,49% para cor aparente, 97,53% para cor verdadeira, 75,00% para turbidez antes da filtração, 100,00% para turbidez após a filtração, 53,08% para condutividade antes da filtração e 44,81% para condutividade após a filtração. Para o tratamento com QI, a eficiência de remoção foi de até 48,89% para cor aparente, 81,11% para cor verdadeira, 66,67% para turbidez antes da filtração, 100,00% para turbidez após a filtração, 55,96% para condutividade antes da filtração e 57,12% para condutividade após a filtração. E por fim, mas não menos importante, o tratamento com os coagulantes associados alcançou eficiência de remoção de até 59,26% para cor aparente, 77,78% para cor verdadeira, 80,00% para turbidez antes da filtração, 100,00% para turbidez após a filtração, 56,92% para condutividade antes da filtração e 57,31% para condutividade após a filtração. Dessa forma, observa-se que todas as situações estudadas trouxeram situações de melhoria para a qualidade da água.

Palavras-chave: Remoção; coagulação; padrão de potabilidade; quiabo; sulfato de alumínio.

1 INTRODUÇÃO

O tratamento da água consiste em remover partículas coloidais e suspensas, matéria orgânica, microrganismos, entre outras substâncias, que possam ser prejudiciais à saúde humana e que venham estar presentes nas águas naturais, de modo que o tratamento ofereça o menor impacto ambiental as áreas vizinhas, menor custo de operação, manutenção e implantação (LIBÂNIO, 2010).

Para a seleção da tecnologia que será adotada para o tratamento da água e para a operação de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é preciso que haja o conhecimento das características da água bruta e a realização de estudos de tratabilidade, para que assim sejam obtidos os parâmetros de projeto (Di BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2011).

A maioria das estações de tratamento de água no Brasil utilizam o sistema convencional ou de ciclo completo, sendo este composto pelas etapas de mistura rápida com coagulação química, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação (Di BERNARDO; SABOGAL PAZ, 2008). A potabilização das águas naturais destinadas ao consumo humano deve adequar a água bruta aos limites químicos, físicos e microbiológicos estabelecidos pela legislação vigente, para que assim a água seja incapaz de transmitir malefícios à população a qual será abastecida (BRASIL, 2021).

O Brasil possuía, em 2020, mais de 36 milhões de pessoas sem acesso a abastecimento de água (BRASIL, 2021). De acordo com Pádua e Heller (2010), o poder público ainda não garante água a milhares de brasileiros e em diversas situações a água que é captada pela própria população não é adequada ao consumo humano, o que faz com que a população, em especial a que reside em comunidades mais afastadas, como as rurais, recorra à soluções alternativas de tratamento de água, como o uso de desinfetantes a base de cloro, filtros domésticos, tratamento domiciliar com filtros de areia, emprego de coagulantes naturais, entre outros, a fim de dizimar esses impasses.

Pádua e Heller (2010) ainda ressaltam que as soluções alternativas não devem ser entendidas como improvisos, tendo em vista que estas também devem fornecer água potável dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente no país. Ao que concerne às soluções alternativas, segundo Lima, Almeida e Vicentini (2020), os coagulantes naturais possuem importância no tratamento de água, tendo em vista o seu impacto no que tange a economia, o meio ambiente e a sociedade.

Os coagulantes naturais são solúveis em água, produzem menores volumes de lodo e baixa toxicidade, reduzem os custos operacionais do tratamento de água, são de fácil acesso,

sustentáveis e podem gerar renda, pois são produtos de matérias-primas abundantes ou subutilizadas (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

De acordo com Ritter (2013), o sulfato de alumínio se destaca como sendo o coagulante químico mais utilizado nas estações de tratamento de água do Brasil, devido a boa eficiência e ao custo benefício. Entretanto, de forma contrária aos coagulantes naturais, o uso de coagulantes químicos à base de alumínio no tratamento de água causa impactos ao meio ambiente, tanto em relação à biodegradabilidade dos seus resíduos, quanto à toxicidade destes, além de que, a exposição excessiva ao alumínio residual na água após o tratamento pode resultar em efeitos deletérios à saúde humana, ocasionando doenças neurodegenerativas como Parkinson e Alzheimer (LIMA JÚNIOR; ABREU, 2018).

Como exemplo de uso coagulantes naturais, temos a *Moringa oleifera* (MICHELAN et al., 2021; LIMA; ALMEIDA; VICENTINI, 2020; RITTER, 2013), cactos (LIMA; ALMEIDA; VICENTINI, 2020), casca de nozes, farinha de macaxeira, fécula de batata (SILVA, 2013) e o quiabo (LIMA; ALMEIDA; VICENTINI, 2020; QUESADA et al., 2019; CARNEIRO-MARRA; SAD; SILVA-BATISTA, 2019; PEREIRA; MEIRA; SOUSA, 2019; LEE et al., 2015; FAHMI et al., 2014; RITTER, 2013; SILVA, 2012; KURNIAWAN et al., 2020).

Para Lima (2007), o quiabo (*Abelmoschus esculentus*) é um produto estável, sendo este apropriado para o tratamento de água. Por ser um polímero aniônico, ao ser usado após a aplicação do coagulante metálico ou orgânico torna o floco mais denso, maior e mais resistente às forças que provocam ruptura. O referido autor observou que a dosagem do sulfato de alumínio pode ser reduzida quando usado em conjunto com o polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação.

Lee et al. (2015) pontuou que o uso do quiabo como biopolímero é uma alternativa viável para o tratamento de água, sem haver necessidade de ajuste de pH, além de proporcionar alta remoção de sólidos suspensos e turbidez. Fahmi et al. (2014) avaliou o desempenho da remoção de turbidez em água utilizando diversas partes do quiabo como coagulante natural, obtendo resultados positivos, sendo possível observar que a proteína do quiabo é um agente ativo no processo de coagulação.

Carneiro-Marra, Sad e Silva-Batista (2019) utilizou como biofloculante o pó e a mucilagem do quiabo no tratamento de água alcançando resultados positivos para redução da turbidez, com resultados de maior eficiência para o uso do quiabo em pó por este conter sítios ativos que favorecem a remoção das partículas coloidais.

Sendo assim, este estudo objetivou avaliar a eficiência do tratamento de água subterrânea, sendo esta enriquecida de lodo de ETA, ao utilizar coagulante químico e coagulante/floculante

natural (sulfato de alumínio e quiabo, respectivamente) de acordo com os valores obtidos para a água tratada em diferentes quantidades de coagulantes/floculante para os parâmetros físico-químicos, sendo estes, cor aparente, cor verdadeira, condutividade, temperatura, turbidez e pH; para, por fim, verificar se os resultados obtidos pós-tratamento enquadravam-se nos valores máximos estabelecidos pela Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde (MS).

2 METODOLOGIA

2.1 Água utilizada no experimento

A água que foi utilizada para o desenvolvimento deste estudo foi retirada por recalque de sistema motor-bomba do poço tubular nº 2, localizado na Universidade Federal de Sergipe (UFS), localizada no município de São Cristóvão, sendo armazenada em garrafas de Politereftalato de Etileno (PET) (Figura 1) previamente higienizadas e posteriormente encaminhadas para serem analisadas no laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA) do Departamento de Engenharia Civil da UFS. Ressalta-se que a água bruta utilizada neste estudo, continha adição semanal de lodo de ETA, na proporção de 1 mL de lodo a cada 500 mL de água bruta.

Figura 1 - Água bruta armazenada em garrafas de Politereftalato de Etileno.



Fonte: Autora (2022).

2.2 Preparação do coagulante químico sulfato de alumínio

O sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) foi o coagulante químico usado no presente estudo. Adotou-se como concentração (referência) informações fornecidas por Pereira, Meira e Sousa (2019) que correspondeu a 1,0 g do coagulante químico diluído em 100 mL de água destilada, sendo obtida solução com concentração de 1%, das quais, ao longo do estudo houve variação

da quantidade de coagulante adicionado. A Figura 2 ilustra essa concentração inicial utilizada como referência.

Figura 2 - Concentração da solução de sulfato de alumínio.



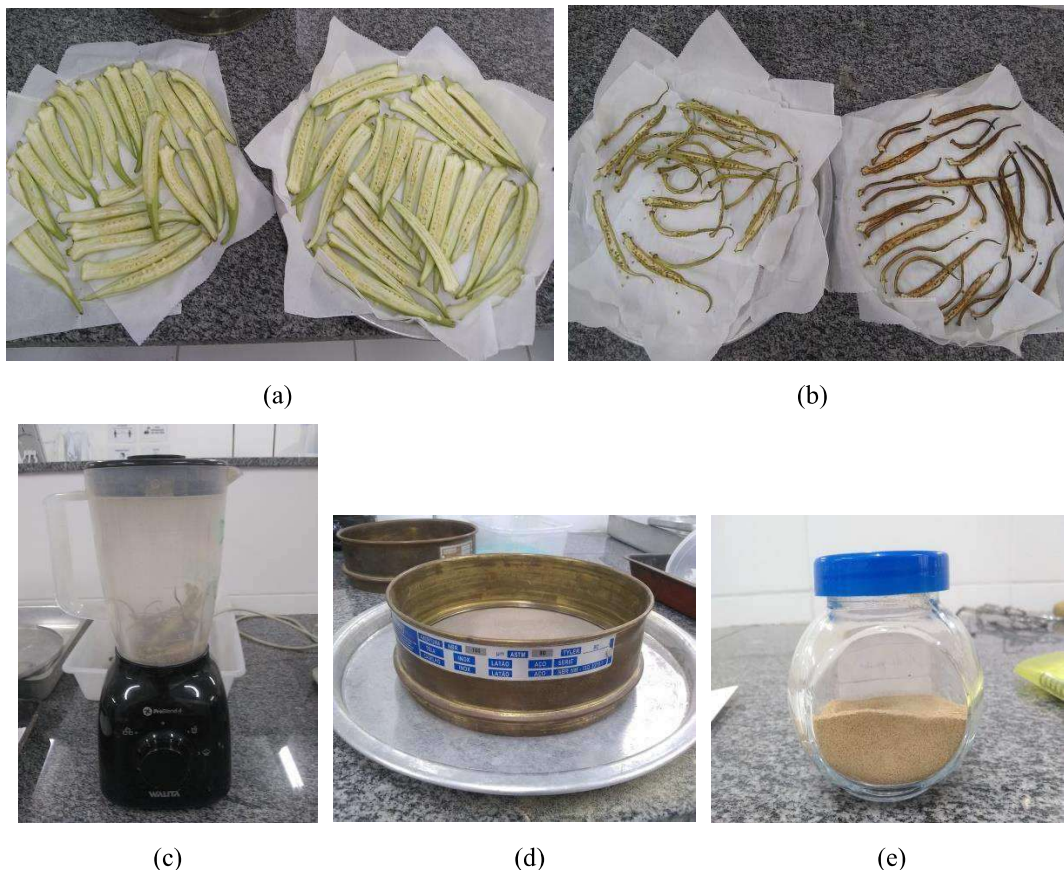
Fonte: Autora (2022).

2.3 Obtenção e preparação do pó do quiabo

O quiabo utilizado foi obtido em mercados locais no município de Aracaju/SE e processado no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA).

Quanto à preparação do pó do quiabo para ser utilizado como coagulante/floculante natural, seguiu-se a metodologia de Pereira, Meira e Sousa (2019), de modo que o quiabo foi limpo e cortado em três partes no sentido longitudinal, as quais foram colocadas sobre bandejas metálicas cobertas com papel toalha, a fim de obter melhor absorção da umidade (Figura 3a), sendo secas na estufa com temperatura entre 55 °C e 60 °C por 24 horas (Figura 3b). Na etapa seguinte, com o término do tempo de secagem do material, os quiabos secos foram triturados com o auxílio de um liquidificador (Figura 3c), ressalta-se que foram utilizadas todas as partes do quiabo. O pó do quiabo moído obtido após estas etapas passou pela peneira com abertura de 0,17mm (80#) (Figura 3d) e o material passante foi separado em um recipiente (Figura 3e) para a posteriori ser utilizado no ensaio de coagulação.

Figura 3 - Quiabo limpo e cortado em tiras (a); quiabo seco em estufa (b); quiabo seco triturado no liquidificador (c); peneira com abertura de 0,17mm (d); recipiente com o material passante na peneira (e).



Fonte: Autora (2022).

Vale ressaltar que, para situações em que não se fizessem presentes os equipamentos supracitados, ainda seria possível a preparação do coagulante natural, tendo em vista que, de acordo com Ritter (2013), a desidratação do quiabo pode ser feita com a exposição deste ao sol durante um período de três dias, enquanto para Silva et al. (2014) a realização da trituração deste material já desidratado poderia ter sido feita com o auxílio do almofariz e pistilo.

Quanto à dosagem da solução do pó de quiabo adotou-se a que obteve melhores resultados do estudo de Pereira, Meira e Sousa (2019) sendo esta 10g/L. A Figura 4 ilustra a solução proveniente do pó do quiabo. Ressalta-se que foi utilizado 0,5 g do coagulante/floculante natural diluído em 50 mL de água destilada para o preparo da solução do pó do quiabo, sendo assim obtida a concentração de 1%.

Figura 4 - Concentração da solução obtida através do pó do quiabo.



Fonte: Autora (2022).

2.4 Experimento no *Jar Test*

O ensaio de tratabilidade da água foi realizado no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente (SAMA) em equipamento *Jar Test*, composto de três jarros com capacidade de dois litros cada um. O equipamento *Jar Test* simula as etapas de tratamento de água na Estação de Tratamento de Água (ETA), sendo estas, a coagulação na mistura rápida, a floculação na mistura lenta e a decantação. A partir disto, torna-se possível realizar variações da dosagem dos coagulantes/floculante com o objetivo de se obter melhor eficiência quanto à remoção de partículas solúveis.

Frisa-se que nos estudos já desenvolvidos, em sua maioria, o quiabo é utilizado como agente auxiliar de floculação, sendo assim, inserido no processo de tratamento de água apenas na etapa de floculação (mistura lenta), porém, neste presente estudo, o pó do quiabo foi introduzido na etapa de mistura rápida com coagulação, a fim de favorecer a facilidade do processo metodológico do estudo com o intuito de não interferir na eficiência do processo.

Para verificar a influência do quiabo como coagulante/floculante, utilizou-se 2L de água bruta em cada jarro do *Jar Test*. Assim, foi adicionado em cada jarro do equipamento *Jar Test* um tipo de solução, de modo que foram analisadas três soluções simultaneamente, ficando, portanto, um jarro com a solução somente com sulfato de alumínio (SA), um jarro com a solução somente com o pó do quiabo (QI) e um jarro com a solução com o sulfato de alumínio associado ao pó do quiabo (SAQI). No jarro com a associação do SA com o QI, a proporção utilizada para cada coagulante foi a mesma que havia sido empregada para estes separados.

Salienta-se que na parte superior do equipamento *Jar Test* ficavam dispostos os tubos de ensaios com as dosagens dos coagulantes/floculante citados, sendo assim, no jarro à esquerda foi inserido o sulfato de alumínio, no jarro central a solução do pó do quiabo e no jarro a direita a combinação dos dois coagulantes (Figura 5). Frisa-se que, ao longo do estudo houve variação da quantidade de coagulante adicionado no *Jar Test*.

Figura 5 - *Jar Test*.



Fonte: Autora (2022).

Após o vertimento de cada solução armazenada nos tubos de ensaio com coagulantes/floculante nos jarros contendo a água bruta, o aparelho *Jar Test* foi ligado dando o início ao ensaio, no qual foram inseridos todos os coagulantes ao mesmo tempo nos jarros, além de serem sido utilizados os mesmos gradientes de velocidade e tempo de detenção hidráulica para a mistura das três composições de coagulantes com a água bruta.

Quanto ao funcionamento do *Jar Test*, seguiu-se recomendações de Quesada et al. (2019) e de Silva (2012), correspondente à velocidade utilizada para a coagulação de aproximadamente 112,3 rpm durante o período de um minuto, enquanto para a floculação a velocidade utilizada foi de aproximadamente 58,3 rpm, por 15 minutos. Ao término das etapas citadas, baseado nos estudos de Santos et al. (2020), adotou-se 30 minutos para o período de decantação das amostras.

Após a decantação, como ilustrado na Figura 6, foi realizada a leitura da turbidez, cor aparente, temperatura, condutividade e pH da água decantada. Ao término da leitura desses parâmetros, a água decantada foi filtrada em membrana com porosidade de 47 μm em bomba a vácuo, com intuito de simular a etapa de filtração; e, após isto, os mesmos parâmetros foram

lidos novamente. Destaca-se que os parâmetros cor aparente, turbidez, pH, condutividade e temperatura também foram aferidos para a água bruta.

Figura 6: Tratamento no *Jar Test* após tempo de decantação.



Fonte: Autora (2022).

2.5 Monitoramento da água bruta e tratada

O monitoramento da água bruta e tratada foi realizado através da análise dos parâmetros: cor aparente, turbidez, pH, temperatura e condutividade elétrica, realizado durante 8 campanhas (fevereiro a abril de 2022). O Quadro 1 expõe os parâmetros que foram analisados, assim como a frequência de monitoramento, as metodologias e equipamentos utilizados.

Quadro 1 - Parâmetros analisados para água bruta e tratada.

Parâmetros	Frequência	Metodologia/Equipamento
Cor aparente e verdadeira* (uC)	1 dia/semana	Metodologia 2120 (APHA, 2012)/Espectrofotômetro
Turbidez (uT)	1 dia/semana	Metodologia 2130 (APHA, 2012)/Espectrofotômetro
pH	1 dia/semana	Metodologia 4500 (APHA, 2012)/pHmetro
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1 dia/semana	Metodologia 2510 (APHA, 2012)/Condutivímetro
Temperatura °C	1 dia/semana	Termômetro digital.

*Não foi analisado o parâmetro cor verdadeira para a água bruta, por esta apresentar valores de cor aparente distantes do VMP da legislação vigente.

Fonte: Autora (2022).

Destaca-se ainda que, para os parâmetros turbidez, pH, condutividade e temperatura processou-se amostras de água antes e após a filtração, com o intuito de verificar se o processo de tratamento de água mais simplificado (sem a filtração) traria qualidade para a água tratada.

2.6 Legislação vigente e limites comparativos

Para realizar a caracterização da água bruta, utilizou-se recomendações do Conselho Nacional do Meio Ambiente, Portaria n° 396 de 2008 (BRASIL, 2008); e, após tratada, a água foi comparada com as características de potabilidade instituídos pelo Gabinete do Ministro (GM) do Ministério da Saúde (MS), através da Portaria de Potabilidade n° 888 de 2021 (BRASIL, 2021).

Os valores máximos permitidos para cor aparente, turbidez e pH, de acordo com a portaria de potabilidade em vigência, estão ilustrados no Quadro 2.

Quadro 2 - Valores máximos permitidos (VMP) para os parâmetros analisados.

Parâmetros	VMP
Cor aparente (uC)	15
Turbidez - padrão organoléptico (uT)	5
Turbidez após filtração rápida(uT)	0,5
pH	6,0 a 9,0

Fonte: Adaptado de Brasil (2021).

Ressalta-se que quanto à condutividade, de acordo com a CETESB (2013), valores superiores a $100 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados negativamente, com concentração de poluentes. Para Brasil (2014), as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a $100 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$, entretanto, para ambientes poluídos por efluentes industriais ou domésticos a condutividade pode chegar a $1.000 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$. Para Mendes e Oliveira (2004) apud Queiroz Neto et al. (2016), por sua vez, a água classifica-se quanto aos valores de condutividade elétrica, de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 – Classificação da água de acordo com os valores da condutividade elétrica.

Condutividade ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$)	Mineralização	Qualidade da água
< 100	Muito fraca	Excelente
100 – 200	Fraca	Excelente
200 – 400	Pouco Acentuada	Excelente
400 – 600	Média	Boa
600 – 1000	Importante	Utilizável
> 1000	Excessiva	Difícilmente utilizável
> 1500	Excessiva	Não utilizável na rega

Fonte: Adaptado de Queiroz Neto et al. (2016).

2.7 Estatística Descritiva

Foi realizada a estatística descritiva para os parâmetros de análise da água bruta e tratada, sendo avaliadas medidas de dispersão (desvio padrão) e de tendência central (média aritmética e mediana).

Com o propósito de obterem-se resultados mais satisfatórios, foram traçados gráficos de barras para ilustrar a eficiência dos coagulantes/floculante (SA, QI e SAQI), assim como *boxplots* para a análise da variação dos parâmetros físico-químicos, permitindo melhor visualização da distribuição e dos valores discrepantes dos dados (*outliers*).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da água bruta

Como resultados das 8 campanhas, a Tabela 1 traz informações referentes aos parâmetros físico-químicos analisados.

Tabela 1 - Resultados dos parâmetros físico-químicos analisados para a água bruta.

Campanha	Cor aparente (uC)	Turbidez (uT)	pH	Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
1	59	5	7,3	520	28,9
2	22	2	7,2	286	26,8
3	81	5	7,6	212	28,3
4	52	4	7,5	259	29,0
5	108	10	6,0	237	27,5
6	103	9	6,9	344	27,8
7	86	7	7,0	325	26,0
8	90	6	7,1	248	27,0
Média	75,13	6,00	-	303,88	27,66
Mediana	83,50	5,50	7,15	272,50	27,65
Mínimo	22,00	2,00	6,00	212,00	26,00
Máximo	108,00	10,00	7,60	520,00	29,00
Desvio Padrão	28,91	2,62	0,49	97,93	1,05

Fonte: Autora (2022).

Quanto ao parâmetro condutividade, obtiveram-se valores entre 212 a 520 $\mu\text{S/cm}$, sendo que, de acordo com a CETESB (2013) e Brasil (2014), valores superiores a 100 $\mu\text{S/cm}$ indicam concentração de poluentes como efluentes industriais ou domésticos. Assim, os valores obtidos para o parâmetro condutividade indicam que a água bruta reservada utilizada no estudo recebe poluentes irregulares, sendo este o lodo de ETA. A média da condutividade da água de estudo foi de 303,88 $\mu\text{S/cm}$, sendo assim, de acordo com Mendes e Oliveira (2004) apud Queiroz Neto et al. (2016), água com condutividade na faixa de 200 a 400 $\mu\text{S/cm}$, possui mineralização pouco acentuada e qualidade da água classificada como excelente.

Além disso, a primeira campanha não se encontrou dentro da média, apresentando valor de 520 $\mu\text{S/cm}$, indicando que, provavelmente, nesta semana o acréscimo de lodo de ETA na

água bruta foi adicionado no dia anterior, podendo o reservatório de água estar em nível de água inferior ao nível de água de outros dias.

Observou-se que todas as coletas apresentaram valor de cor aparente maior que 15 uC, pH entre 6,0 e 9,0, além de que as campanhas 5, 6, 7 e 8 apresentaram valores de turbidez maior 5 uT, portanto, somente a turbidez das campanhas 1, 2, 3 e 4, e o pH de todas as campanhas de água bruta, atenderam aos valores máximos previstos pela Portaria GM/MS nº 888 de 2021 (BRASIL, 2021).

Santos Júnior et al. (2020), desenvolveram seus estudos utilizando a água do poço deste presente trabalho, no ano de 2020, e indicaram que a água bruta que foi utilizada, por ser subterrânea com turbidez inferior a 40 uT, era classificada como Tipo B de acordo com a norma NBR 12216/1992 (ABNT, 1992). Ainda segundo os autores, a água em estudo é classificada como sendo Classe 2 de acordo com o CONAMA 396/2008 (BRASIL, 2008), e apresentou temperatura média de 28,9 °C, cor aparente média de 42 uH e turbidez média de 4,28 uT.

No estudo desenvolvido por Almeida et al. (2021) para a água utilizada neste trabalho, para o ano de 2021, a água bruta apresentou valores mínimos de pH variando entre 6,00 e 7,20 e máximos na faixa de 7,90 e 8,30, temperatura com variação entre 24,50 e 29,80 °C, turbidez com variação média de 0 a 20 uT e cor aparente com médias na ordem de 70 uC.

No presente estudo, a água apresentou temperatura média de 27,66 °C, cor aparente média de 75,13 uC, turbidez média de 6,0 uT, pH entre 6,0 e 7,6, e entrou em consonância com as ideias de Santos Júnior et al. (2020), quanto a água captada do poço ser Tipo B e Classe 2.

3.2 Caracterização da água tratada

A Tabela 2 apresenta a sequência das dosagens das campanhas estudadas para o coagulante químico (SA) e para o coagulante/floculante natural (QI) separadamente e associados (SAQI).

Tabela 2 - Sequência de campanhas e dosagens estudadas.

Campanha	Dosagem SA (mL)	Dosagem QI (mL)	Dosagem SAQI (mL)
1	6,0	6,0	6,0 SA + 6,0 QI
2	4,0	4,0	4,0 SA + 4,0 QI
3	2,0	2,0	2,0 SA + 2,0 QI
4	1,0	1,0	1,0 SA + 1,0 QI
5	8,0	8,0	8,0 SA + 8,0 QI
6	3,0	3,0	3,0 SA + 3,0 QI
7	1,5	1,5	1,5 SA + 1,5 QI
8	0,5	0,5	0,5 SA + 0,5 QI

Fonte: Autora (2022).

3.2.1 Resultados para o parâmetro cor aparente

A Tabela 3 apresenta os valores obtidos para o parâmetro cor aparente após o tratamento com SA, QI e SAQI.

Tabela 3 - Valores obtidos para o parâmetro cor aparente.

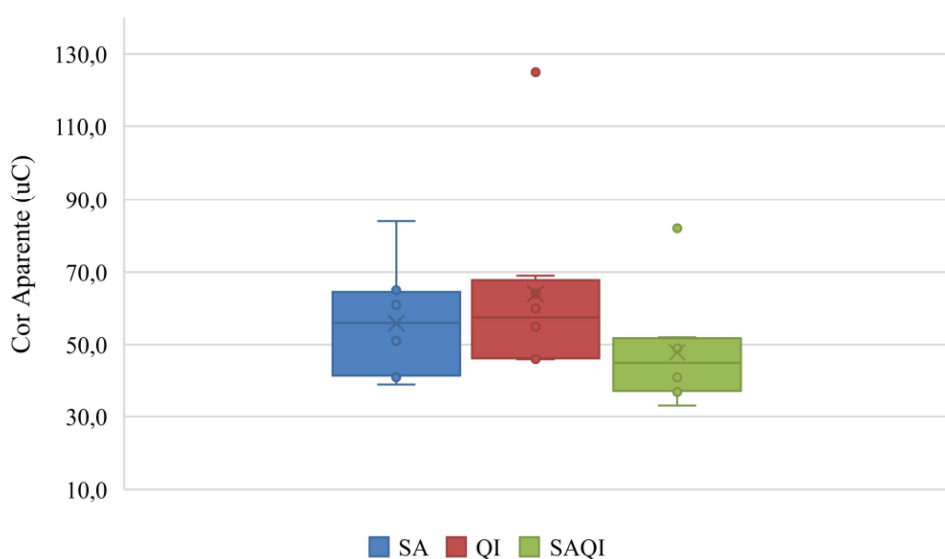
Dosagem (mL)	Água Bruta (uC)	SA (uC)	QI (uC)	SAQI (uC)
8,0	108	84	125	82
6,0	59	39	69	52
4,0	22	41	60	51
3,0	103	51	64	49
2,0	81	61	55	33
1,5	86	63	46	37
1,0	52	43	47	38
0,5	90	65	46	41
Média	75,13	55,88	64,00	47,88
Mediana	83,50	56,00	57,50	45,00
Mínimo	22,00	39,00	46,00	33,00
Máximo	108,00	84,00	125,00	82,00
Desvio Padrão	28,91	15,34	26,13	15,48

Fonte: Autora (2022).

Conforme a Portaria de Potabilidade nº 888, o valor máximo permitido (VMP) para cor aparente é de 15 uC (BRASIL, 2021). Com base nos resultados representados na Tabela 3, a cor aparente para a solução SA ficou entre 84 uC e 39 uC, para a solução QI ficou entre 125 uC e 46 uC, e para a solução SAQI ficou entre 82 uC e 33 uC, portanto, estes valores foram maiores que o máximo permitido pela portaria de potabilidade.

O *boxplot* da Figura 7 apresenta os valores obtidos para o parâmetro cor aparente após o tratamento com SA, QI e SAQI. Pode-se observar que os dados apresentaram um *outlier*, correspondente à quinta campanha para o tratamento com QI, com valor igual a 125 uC e um *outlier*, correspondente à quinta campanha para o tratamento com SAQI, com valor igual a 82 uC. Observa-se ainda que, para nenhum coagulante utilizado, obteve-se simetria da distribuição dos dados, uma vez que a mediana não está localizada na parte central dos respectivos *boxes*. Quanto ao intervalo interquartilico, os dados obtidos com o uso do SA apresentaram maior intervalo com 23,0 uC, seguido do intervalo de 21,5 uC para o uso do coagulante QI e para o uso do coagulante SAQI o intervalo correspondeu a 14,5 uC. Com isso, observa-se que os resultados obtidos com o tratamento com SA apresentaram maior dispersão, se comparado aos demais.

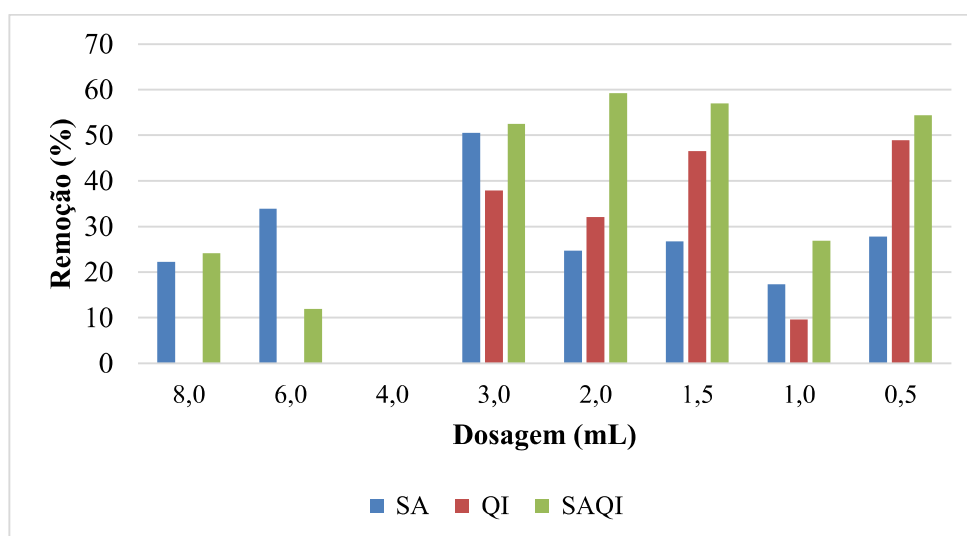
Figura 7 - *Boxplot* da cor aparente, em uC, presentes na água tratada.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 8 apresenta o gráfico de eficiência de remoção com relação aos valores obtidos da água bruta nas campanhas, para o parâmetro cor aparente após o tratamento com SA, QI e SAQI.

Figura 8 - Valores obtidos para eficiência de remoção da cor aparente.



Fonte: Autora (2022).

Como ilustrado na Figura 8, para a dosagem de 8,0 mL e 6,0 mL não houve eficiência de remoção de cor aparente para a solução QI, enquanto que para a dosagem de 4,0 mL não houve eficiência de remoção para nenhuma das soluções. Com relação a melhor eficiência de remoção, para a solução SA foi com a dosagem de 3,0 mL e obteve-se eficiência de remoção de 50,49%, para a solução QI foi com a dosagem de 0,5 mL e obteve-se eficiência de remoção de 48,89%,

já para a solução SAQI foi com a dosagem de 2,0 mL de cada solução e obteve-se eficiência de remoção de 59,26%.

Ritter (2013) utilizou o quiabo como auxiliar de floculação e o coagulante policloreto de alumínio para tratar a água da ETA de Campo Mourão que capta água do Rio do Campo, obtendo remoção de cor aparente em cerca de 96,6%.

Lima (2007) tratou a água do córrego Areal, na cidade de Itapema em Santa Catarina, utilizando o sulfato de alumínio e também uma combinação do coagulante sulfato de alumínio com o quiabo como auxiliar de floculação, obtendo máxima eficiência de remoção de cor aparente em cerca de 83,3% para ambas as situações.

Silva (2012) em seus estudos tratou a água do rio Guamá em Belém no Pará, obtendo a maior eficiência de remoção da cor aparente quando utilizado o coagulante sulfato de alumínio de 97%, enquanto que, utilizando apenas o quiabo foi de 89% e para a associação dos coagulantes/floculantes foi de 98%.

Nesse estudo observou-se remoção para a cor aparente menos expressivas que os apresentados na literatura, possivelmente por terem sido utilizadas metodologias diferentes das que foram utilizadas neste estudo. Como resultado foram encontradas remoções de até 59,29%, 50,49% e 48,89%, para a associação do quiabo ao coagulante químico, apenas para o tratamento com sulfato de alumínio para o quiabo, respectivamente.

3.2.2 Resultados para o parâmetro cor verdadeira

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos para o parâmetro cor verdadeira, sendo esta a cor após filtração, para o tratamento com SA, QI e SAQI.

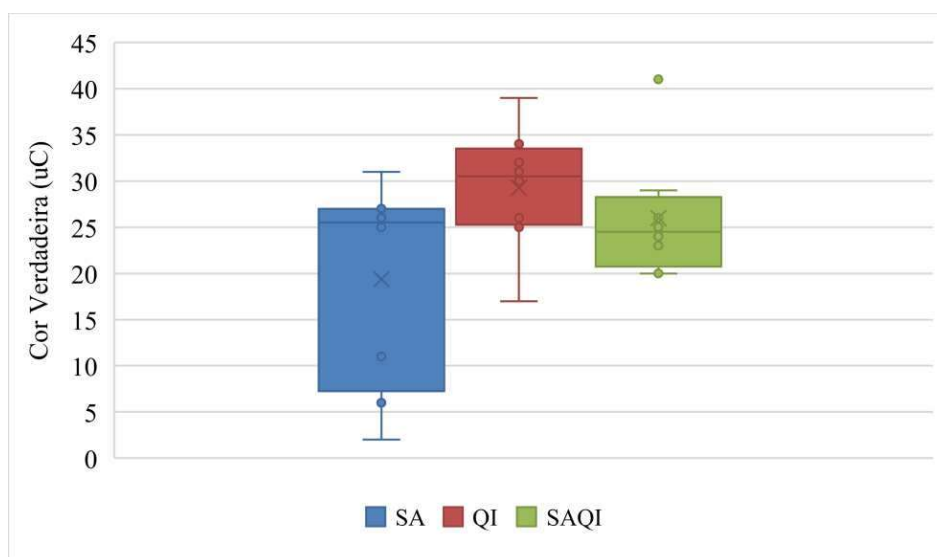
Tabela 4 - Valores obtidos para o parâmetro cor verdadeira.

Dosagem (mL)	Água Bruta (uC)	SA (uC)	QI (uC)	SAQI (uC)
8,0	108	26	31	41
6,0	59	6	34	29
4,0	22	11	26	20
3,0	103	31	39	25
2,0	81	2	25	23
1,5	86	27	32	24
1,0	52	27	30	26
0,5	90	25	17	20
Média	75,13	19,38	29,25	26,00
Mediana	83,50	25,50	30,50	24,50
Mínimo	22,00	2,00	17,00	20,00
Máximo	108,00	31,00	39,00	41,00
Desvio Padrão	28,91	11,20	6,63	6,76

Fonte: Autora (2022).

O *boxplot* da Figura 9 apresenta os valores obtidos para o parâmetro cor verdadeira após o tratamento com SA, QI e SAQI. Pode-se observar que os dados apresentaram um *outlier*, correspondente à quinta campanha para o tratamento com SAQI, com valor igual a 41 uC. Observa-se ainda que, para os coagulantes SA e QI, não foi obtido simetria dos dados, uma vez que a mediana não está localizada na parte central dos respectivos *boxes*. Quanto ao intervalo interquartílico, os dados obtidos com o uso do SA apresentaram maior intervalo com 19,75 uC, seguido do intervalo de 8,25 uC para o uso do coagulante QI e para o uso do coagulante SAQI o intervalo correspondeu a 7,50 uC. Com isso, observa-se que os resultados obtidos com o tratamento com SA apresentaram maior dispersão, se comparado aos demais.

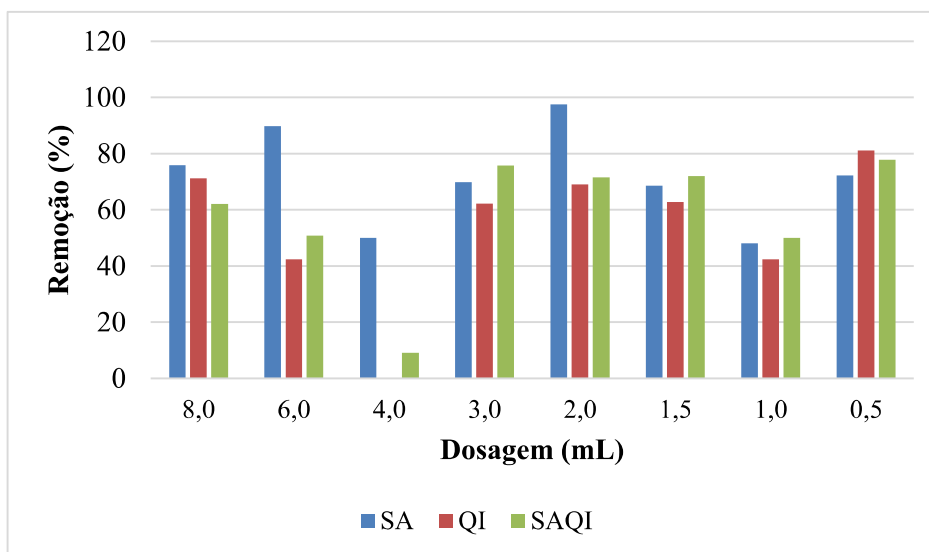
Figura 9 - *Boxplot* da cor verdadeira, em uC, da água tratada.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 10 apresenta o gráfico de eficiência de remoção com relação aos valores obtidos da água bruta nas campanhas, para o parâmetro cor verdadeira após o tratamento com SA, QI e SAQI.

Figura 10 - Valores obtidos para eficiência de remoção da cor verdadeira.



Fonte: Autora (2022).

Sendo assim, como ilustrado na Figura 10, para a dosagem de 4,0 mL não houve eficiência de remoção de cor verdadeira para a solução QI. Com relação a melhor eficiência de remoção, para a solução SA foi com a dosagem de 2,0 mL e obteve-se eficiência de remoção de 97,53%, para a solução QI foi com a dosagem de 0,5 mL e obteve-se eficiência de remoção de 81,11%, já para a solução SAQI foi com a dosagem de 0,5 mL e obteve-se eficiência de remoção de 77,78%.

Santos et al. (2018), ao tratar a água proveniente do Rio Poxim em Sergipe, verificou a eficiência de remoção para o parâmetro cor verdadeira, ao utilizar sulfato alumínio, no qual foi obtida eficiência até 100%. Neste estudo, quando utilizado apenas o sulfato no tratamento da água, obteve-se eficiência de remoção de até 97,53%, o que retratou comportamento semelhante ao de Santos et al. (2018).

3.2.3 Resultados para o parâmetro turbidez

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos para o parâmetro turbidez antes da filtração após o tratamento com SA, QI e SAQI.

Tabela 5 - Valores obtidos para o parâmetro turbidez antes da filtração.

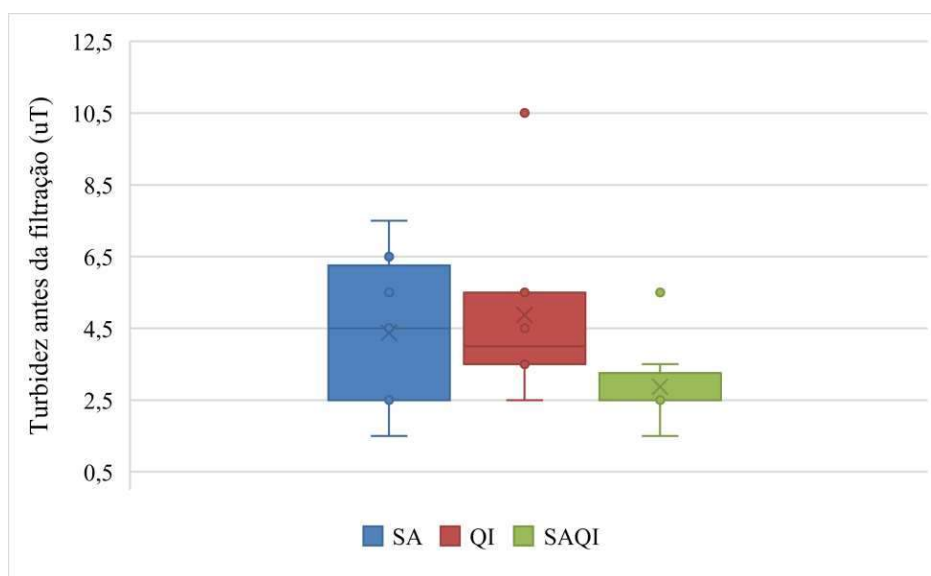
Dosagem (mL)	Água Bruta (uT)	SA (uT)	QI (uT)	SAQI (uT)
8,0	10	7	10	5
6,0	5	2	5	2
4,0	2	2	4	2
3,0	9	4	5	2
2,0	5	5	3	1
1,5	7	6	3	3
1,0	4	1	3	2
0,5	6	4	2	2
Média	6,00	3,88	4,38	2,38
Mediana	5,5	4,00	3,50	2,00
Mínimo	2	1,00	2,00	1,00
Máximo	10	7,00	10,00	5,00
Desvio Padrão	2,62	2,10	2,50	1,19

Fonte: Autora (2022).

Conforme a Portaria de Potabilidade nº 888, o VMP da turbidez para atender aos padrões organolépticos é de 5 uT (BRASIL, 2021). Com base nos resultados representados na Tabela 5, para a solução SA dois resultados não atenderam ao VMP, sendo estes 7 uT para dosagem de 8,0 mL e 6 uT para a dosagem de 1,5 mL. Para a solução QI um resultado não atendeu ao VMP, sendo este 10 uT para dosagem de 8,0 mL e para a solução SAQI todos atenderam ao VMP de turbidez dos padrões organolépticos.

A dispersão dos dados de turbidez pode ser melhor observada com base na Figura 11, onde o intervalo interquartil para o tratamento do SA foi de 3,75 uT, sendo o maior, se comparado com os demais tratamentos, além de que, para nenhum dos coagulantes utilizados obteve-se simetria dos dados. Pode-se observar que os dados apresentaram um *outlier*, correspondente à quinta campanha para o tratamento com QI, com valor igual a 10 uT e um *outlier*, correspondente à quinta campanha para o tratamento com SAQI, com valor igual a 5 uT.

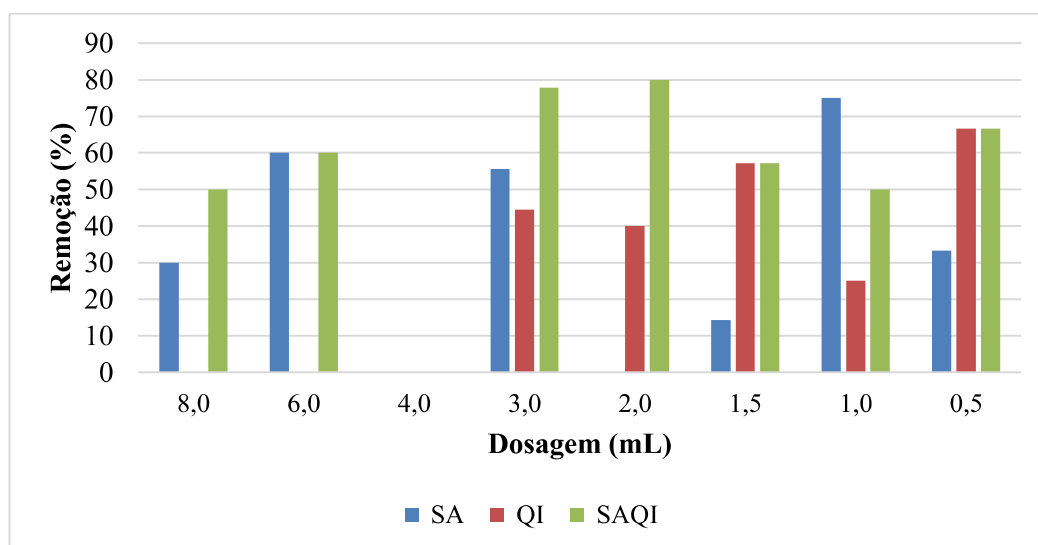
Figura 11 - *Boxplot* da turbidez antes da filtração, em uT, da água tratada.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 12 apresenta o gráfico de eficiência de remoção com relação aos valores obtidos da água bruta nas campanhas, para o parâmetro turbidez antes da filtração após o tratamento com SA, QI e SAQI.

Figura 12 - Valores obtidos para eficiência de remoção da turbidez antes da filtração.



Fonte: Autora (2022).

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos para o parâmetro turbidez após a filtração com o tratamento com SA, QI e SAQI.

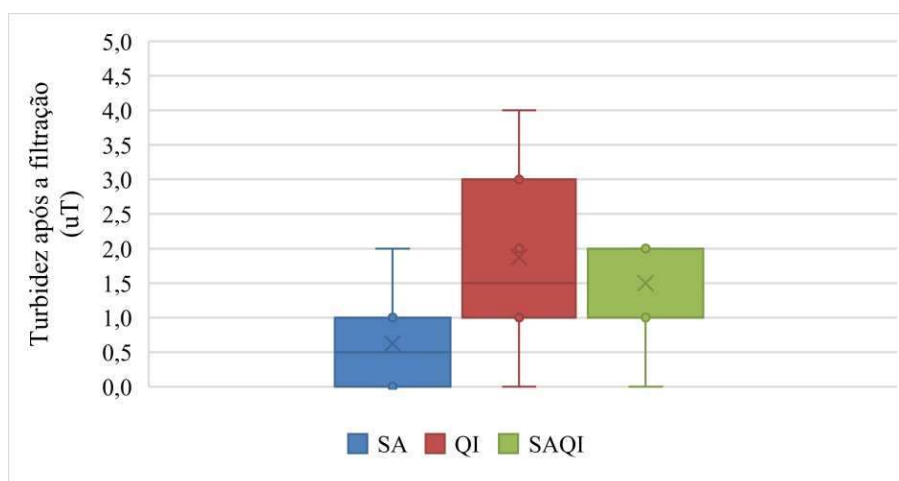
Tabela 6 - Valores obtidos para o parâmetro turbidez após a filtração.

Dosagem (mL)	Água Bruta (uT)	SA (uT)	QI (uT)	SAQI (uT)
8,0	10	2	3	2
6,0	5	0	2	1
4,0	2	0	1	2
3,0	9	1	4	2
2,0	5	0	3	0
1,5	7	1	0	1
1,0	4	1	1	2
0,5	6	0	1	2
Média	6,00	0,63	1,88	1,50
Mediana	5,5	0,50	1,50	2,00
Mínimo	2	0,00	0,00	0,00
Máximo	10	2,00	4,00	2,00
Desvio Padrão	2,62	0,74	1,36	0,76

Fonte: Autora (2022).

Conforme a Portaria de Potabilidade nº 888, o VMP para turbidez após filtração rápida é de 0,5 uT (BRASIL, 2021). Com base nos resultados representados na Tabela 6, para a solução SA quatro resultados não atenderam ao VMP, sendo estes 2 uT para dosagem de 8,0 mL e 1 uT para as dosagens de 3,0 mL, 1,5 mL e 1,0 mL, para a solução QI apenas um resultado atendeu ao VMP, tendo em vista que para a dosagem de 1,5 mL obteve-se resultado de 0 uT, e para a solução SAQI apenas um resultado atendeu ao VMP, tendo em vista que para a dosagem de 2,0 mL obteve-se resultado de 0 uT.

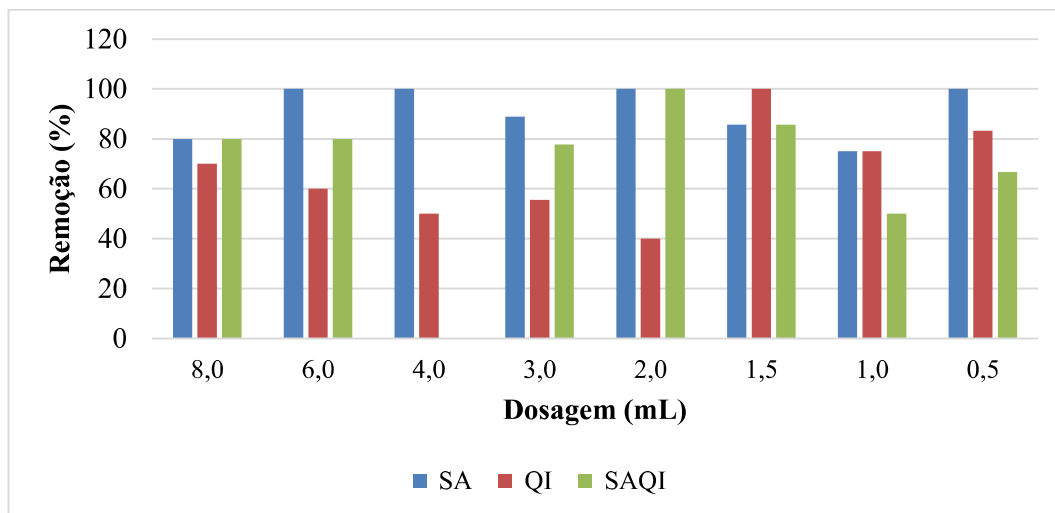
O *boxplot* da Figura 13 apresenta os valores obtidos para o parâmetro turbidez após o tratamento com SA, QI e SAQI. Pode-se observar que os dados não apresentaram nenhum *outlier*, além de que, o tratamento com QI apresentou o maior intervalo interquartilístico para os dados de turbidez, correspondente a 2 uT. Ademais, para os coagulantes QI e SAQI não foi obtido simetria dos dados.

Figura 13 - *Boxplot* da turbidez após a filtração, em uT, da água tratada.

Fonte: Autora (2022).

A Figura 14 apresenta o gráfico de eficiência de remoção com relação aos valores obtidos da água bruta nas campanhas, para o parâmetro turbidez após a filtração posterior ao tratamento com SA, QI e SAQI.

Figura 14 - Valores obtidos para eficiência de remoção da turbidez após a filtração.



Fonte: Autora (2022).

Sendo assim, para este presente estudo, como ilustrado na Figura 12, para a eficiência de remoção da turbidez antes da filtração, para a dosagem de 8,0 mL e 6,0 mL não houve eficiência de remoção de turbidez para a solução QI, para a dosagem de 2,0 mL não houve eficiência de remoção de turbidez para a solução SA, enquanto que a dosagem de 4,0 mL para nenhuma das soluções houve eficiência de remoção. Com relação a melhor eficiência de remoção, para a solução SA foi com a dosagem de 1,0 mL e obteve-se eficiência de remoção de 75,00%, para a solução QI foi com a dosagem de 0,5 mL e obteve-se eficiência de remoção de 66,67%, já para a solução SAQI foi com a dosagem de 2,0 mL e obteve-se eficiência de remoção de 80,00%.

Para a eficiência de remoção da turbidez após a filtração (Figura 14) a dosagem de 4,0 mL continuou sem oferecer eficiência de remoção de turbidez para a solução SAQI. Com relação a melhor eficiência de remoção, para a solução SA com as dosagens de 6,0 mL, 4,0 mL, 2,0 mL e 0,5 mL obteve-se eficiência de remoção de 100,00%, para a solução QI com a dosagem de 1,5 mL obteve-se eficiência de remoção de 100,00%, já para a solução SAQI com a dosagem de 2,0 mL obteve-se eficiência de remoção de 100,00%.

Carneiro-Marra, Sad e Silva-Batista (2019) desenvolveram os seus estudos utilizando a água do Rio Ribeirão Arrudas de Belo Horizonte e constataram remoção de 88% da turbidez quando utilizado no tratamento da água o pó de quiabo associado ao coagulante químico sulfato de ferro.

Silva (2012), no tratamento de água do rio Guamá em Belém, encontrou eficiência de remoção da turbidez quando utilizado o coagulante químico sulfato de alumínio e o quiabo associados em torno de 94%, para o uso apenas do quiabo foi de 71% e para apenas do sulfato de alumínio foi de 92%.

Pereira, Meira e Sousa (2019) observou que o uso quiabo como agente floculante associado ao sulfato de alumínio, foi eficaz no tratamento da água do rio Amazonas, estes obtiveram resultados de remoção de turbidez de até 92%, além de que, foi identificado que, de acordo com o aumento da quantidade da solução do pó do quiabo, maior era a taxa de remoção de turbidez.

Lima (2007), com a aplicação da solução de polímero natural do quiabo maduro, seco e pulverizado como agente floculante associado ao sulfato de alumínio, na água do rio Cuiabá, encontrou resultados de remoção da turbidez de cerca de 92% para o tempo de sedimentação de 20 minutos utilizando a associação entre o pó do quiabo com o sulfato de alumínio, enquanto que com o uso de apenas o coagulante químico obteve eficiência de remoção de 88%.

Ressalta-se que nos resultados citados, foram pontuadas a turbidez sem a etapa da filtração após decantação, partindo deste princípio, os resultados que mais se aproximaram deste presente estudo para o caso de turbidez antes da filtração foi o de Carneiro-Marra, Sad e Silva-Batista (2019) e em especial o de Lima (2007) que também utilizou os mesmos coagulantes/floculantes deste estudo com resultados pontuados na totalidade na remoção da turbidez.

Ainda para Lima (2007), ao tratar a água bruta do córrego Areal na cidade de Itapema em Santa Catarina, foram encontrados resultados de melhor eficiência de remoção da turbidez após a filtração com a utilização da associação dos coagulantes quiabo e sulfato de alumínio de 90%, enquanto que com o uso de apenas o sulfato de alumínio foi de 86%.

Santos et al. (2018), ao tratar água proveniente do Rio Poxim em Sergipe, verificou a eficiência de remoção para a turbidez após a filtração ao utilizar sulfato alumínio, no qual foi obtida eficiência de até 100%.

Ademais, destaca-se que, neste presente estudo, foi encontrada eficiência de remoção de turbidez após filtração de 100% com algumas dosagens para todos os coagulantes.

3.2.4 Resultados para o parâmetro condutividade

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos para o parâmetro condutividade antes da filtração após o tratamento com SA, QI e SAQI.

Tabela 7 - Estatística descritiva para o parâmetro condutividade antes da filtração.

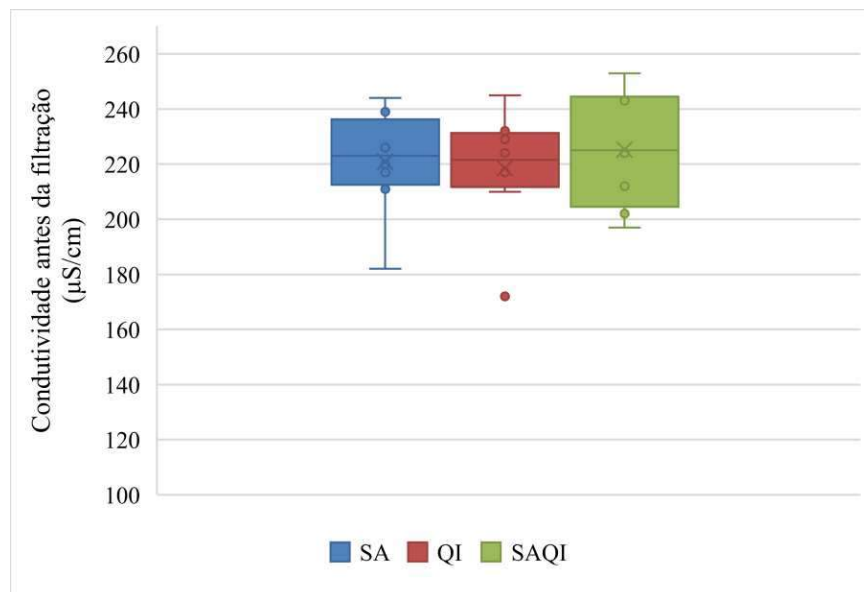
Dosagem (mL)	Água Bruta ($\mu\text{S/cm}$)	SA ($\mu\text{S/cm}$)	QI ($\mu\text{S/cm}$)	SAQI ($\mu\text{S/cm}$)
8,0	237	211	172	226
6,0	520	244	229	224
4,0	286	217	210	212
3,0	344	226	245	245
2,0	212	228	217	202
1,5	325	220	219	253
1,0	259	239	224	197
0,5	248	182	232	243
Média	303,88	220,88	218,50	225,25
Mediana	272,5	223,00	221,50	225,00
Mínimo	212	182,00	172,00	197,00
Máximo	520	244,00	245,00	253,00
Desvio Padrão	97,93	19,14	21,59	20,67

Fonte: Autora (2022).

De acordo com a Tabela 7, a média da condutividade antes da filtração após o tratamento com SA foi de 220,88 $\mu\text{S/cm}$, enquanto que após o tratamento com QI a média foi de 218,50 $\mu\text{S/cm}$, enquanto que, para o tratamento com SAQI a média foi de 225,25 $\mu\text{S/cm}$, sendo assim, segundo Mendes e Oliveira (2004) apud Neto et al. (2016), como ilustrado no Quadro 3, esta água após o tratamento com SA, QI e SAQI possui mineralização pouco acentuada e qualidade da água classificada como excelente.

A dispersão pode ser melhor observada com base na Figura 15, onde o intervalo interquartil para o tratamento do SAQI foi de 40 $\mu\text{S/cm}$, sendo este o maior se comparado com os demais tratamentos, além de que, para os coagulantes SA e SAQI, não foi obtido simetria dos dados. Pode-se observar que os dados apresentaram um *outlier*, correspondente à quinta campanha para o tratamento com QI, com valor igual a 172 $\mu\text{S/cm}$.

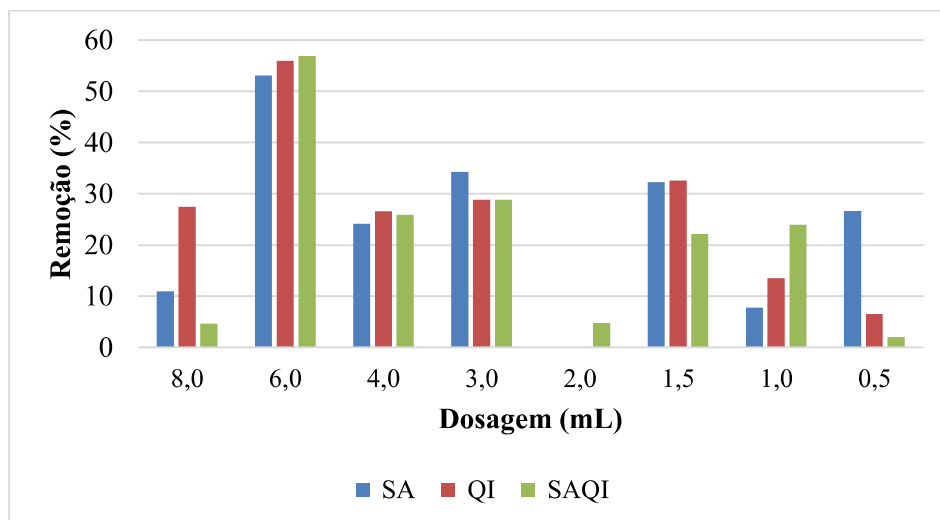
Figura 15 - *Boxplot* da condutividade antes da filtração, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, da água tratada.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 16 apresenta o gráfico de eficiência de remoção com relação aos valores obtidos da água bruta nas campanhas, para o parâmetro condutividade antes da filtração posterior ao tratamento com SA, QI e SAQI.

Figura 16 - Valores obtidos para eficiência de remoção da condutividade antes da filtração.



Fonte: Autora (2022).

Portanto, para a dosagem de 2,0 mL não houve eficiência de remoção de íons dissolvidos (desmineralização) para as soluções de SA e QI. Com relação a melhor eficiência de remoção, para a solução SA, QI e SAQI a dosagem de 6,0 mL obteve a melhor eficiência, sendo estas 53,08%, 55,96% e 56,92% respectivamente.

A Tabela 8 apresenta os valores obtidos para o parâmetro condutividade após a filtração posterior ao tratamento com SA, QI e SAQI.

Tabela 8 - Valores obtidos para o parâmetro condutividade após a filtração.

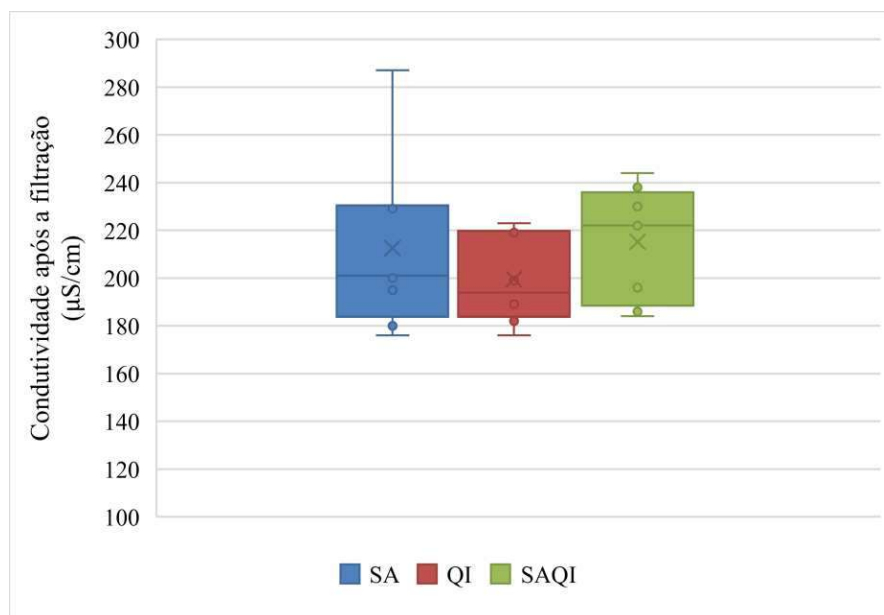
Dosagem (mL)	Água Bruta ($\mu\text{S/cm}$)	SA ($\mu\text{S/cm}$)	QI ($\mu\text{S/cm}$)	SAQI ($\mu\text{S/cm}$)
8,0	237	176	176	184
6,0	520	287	223	222
4,0	286	200	189	186
3,0	344	231	220	238
2,0	212	195	189	196
1,5	325	202	199	244
1,0	259	229	219	222
0,5	248	180	182	230
Média	303,88	212,50	199,63	215,25
Mediana	272,5	201,00	194,00	222,00
Mínimo	212	176,00	176,00	184,00
Máximo	520	287,00	223,00	244,00
Desvio Padrão	97,93	36,11	18,64	23,47

Fonte: Autora (2022).

Segundo a Tabela 8, a média da condutividade após o tratamento com SA foi de 212,50 $\mu\text{S/cm}$, enquanto que após o tratamento com QI a média foi de 199,63 $\mu\text{S/cm}$ e para o tratamento com SAQI a média foi de 215,25 $\mu\text{S/cm}$, sendo assim, de acordo com Mendes e Oliveira (2004) apud Queiroz Neto et al. (2016), como ilustrado no Quadro 3, esta água após tratamento com SA e SAQI possui também mineralização pouco acentuada e qualidade da água classificada como excelente, já após o tratamento com QI possui mineralização fraca e qualidade da água classificada como excelente.

O *boxplot* da Figura 17 apresenta os valores obtidos para o parâmetro condutividade após a filtração posterior ao tratamento com SA, QI e SAQI. Pode-se observar que os dados não apresentaram nenhum *outlier*. O maior intervalo interquartil foi para o SAQI, sendo este 47,50 $\mu\text{S/cm}$, além de disto, ressalta-se que para nenhum dos coagulantes utilizados obteve-se simetria dos dados.

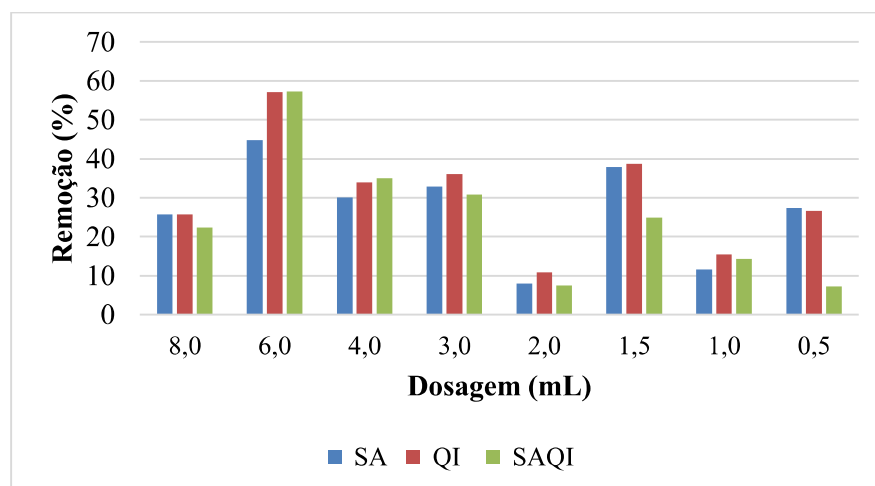
Figura 17 - *Boxplot* da condutividade após a filtração, em $\mu\text{S}/\text{cm}$, da água tratada.



Fonte: Autora (2022).

A Figura 18 representa eficiência de remoção com relação aos valores obtidos da água bruta nas campanhas, para o parâmetro condutividade após a filtração, posterior ao tratamento com SA, QI e SAQI.

Figura 18 - Valores obtidos para eficiência de remoção da condutividade após a filtração.



Fonte: Autora (2022).

Sendo assim, com relação a melhor eficiência de remoção, para a solução SA, QI e SAQI a dosagem de 6,0 mL obteve a melhor eficiência, sendo estas 44,81%, 57,12% e 57,31% respectivamente.

De acordo com Pádua e Heller (2010), a condutividade da água depende da quantidade de sais dissolvidos. Desta forma, com o aumento do período de duração da medição do parâmetro, os íons dissolvidos foram decantando no fundo do recipiente de coleta da água tratada. Assim, o decréscimo na eficiência de remoção para o SA ocorreu possivelmente por ter

ocorrido um tempo maior de decantação para a medição deste parâmetro para água filtrada quando em comparação com antes da filtração, portanto, o maior tempo de decantação propiciou um maior acúmulo destes sais ao fundo do recipiente de coleta da água, que ao entrar em contato com o eletrodo do condutivímetro ocasionou um resultado maior de condutividade ao final do período de medição.

3.2.5 Resultado para o parâmetro pH

Conforme a Portaria de Potabilidade nº 888, o valor aceitável estabelecido para o pH fica na faixa de 6,0 a 9,0 (BRASIL, 2021).

Com base nos resultados de pH antes da filtração representados na Tabela 9, para a solução SA apenas um resultado não se enquadrou, sendo obtido pH de 5,1 para a dosagem de 8,0 mL. Para a solução SAQI também um resultado não se enquadrou, sendo obtido pH de 4,9 para a dosagem de 8,0 mL. Os demais resultados para as demais dosagens se enquadraram na faixa estabelecida pela portaria.

Também se observa que houve pouca variação de pH entre o tratamento com as soluções SA, QI e SAQI, sendo que a dosagem que causou maiores alterações de valores de pH entre os tratamentos foi a de 8,0 mL.

Tabela 9 - Valores obtidos para o parâmetro pH antes da filtração.

Dosagem (mL)	Água Bruta	SA	QI	SAQI
8,0	6,0	5,1	6,0	4,9
6,0	7,3	6,2	6,4	6,1
4,0	7,2	6,7	6,9	6,6
3,0	6,9	6,7	6,7	6,6
2,0	7,6	7,6	7,8	7,9
1,5	7,0	7,1	7,1	6,9
1,0	7,5	7,3	7,4	7,4
0,5	7,1	7,0	6,9	6,9
Mediana	7,2	6,9	6,9	6,8
Mínimo	6,0	5,1	6,0	4,9
Máximo	7,6	7,6	7,8	7,9
Desvio Padrão	0,49	0,78	0,56	0,90

Fonte: Autora (2022).

Enquanto que, de acordo com os valores de pH após a filtração representados na Tabela 10, observou-se um comportamento similar ao pH antes da filtração, sendo assim, para a solução SA um resultado não se enquadrou, sendo obtido um pH de 5,0 para a dosagem de 8,0 mL e para a solução SAQI um resultado também não se enquadrou, sendo obtido um pH de 4,9 para a dosagem de 8,0 mL.

Além disso, os demais resultados para as demais dosagens também se enquadraram na faixa estabelecida pela portaria e houve pouca variação de pH entre o tratamento com as

soluções SA, QI e SAQI, assim como o pH antes da filtração, o que ressalta que este parâmetro quase não sofreu influência com a filtração. Cabe salientar que houve maior alteração de valores de pH entre os tratamentos com a dosagem de 8 mL, tanto para o pH antes, quanto para o pH depois da filtração.

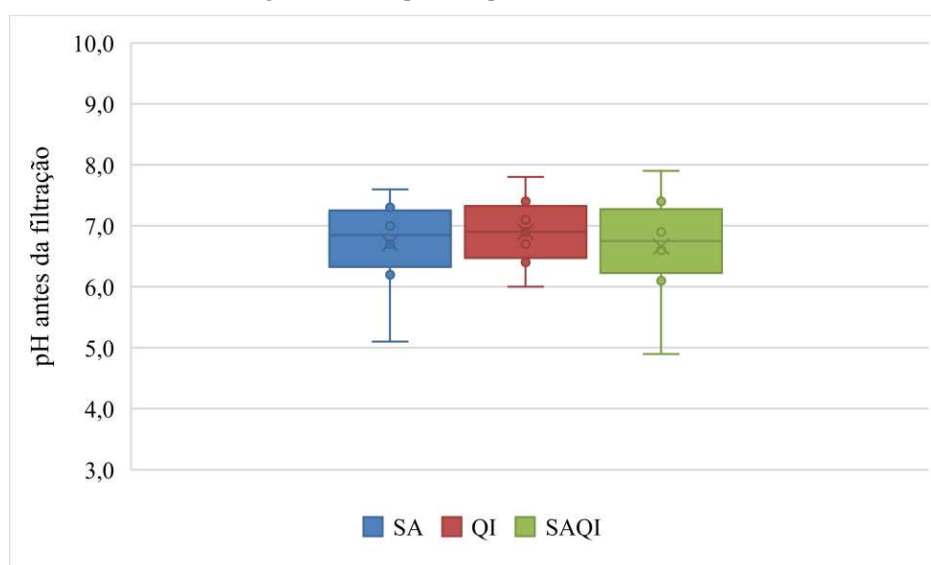
Tabela 10 - Valores obtidos para o parâmetro pH após a filtração.

Dosagem (mL)	Água Bruta	SA	QI	SAQI
8,0	6,0	5,0	6,4	4,9
6,0	7,3	6,1	6,6	6,0
4,0	7,2	6,7	7,0	6,5
3,0	6,9	6,8	7,2	6,6
2,0	7,6	7,6	8,0	7,8
1,5	7,0	7,2	7,1	7,0
1,0	7,5	7,3	7,3	7,4
0,5	7,1	7,2	7,0	7,0
Mediana	7,2	7,0	7,1	6,8
Mínimo	6,0	5,0	6,4	4,9
Máximo	7,6	7,6	8,0	7,8
Desvio Padrão	0,49	0,84	0,48	0,90

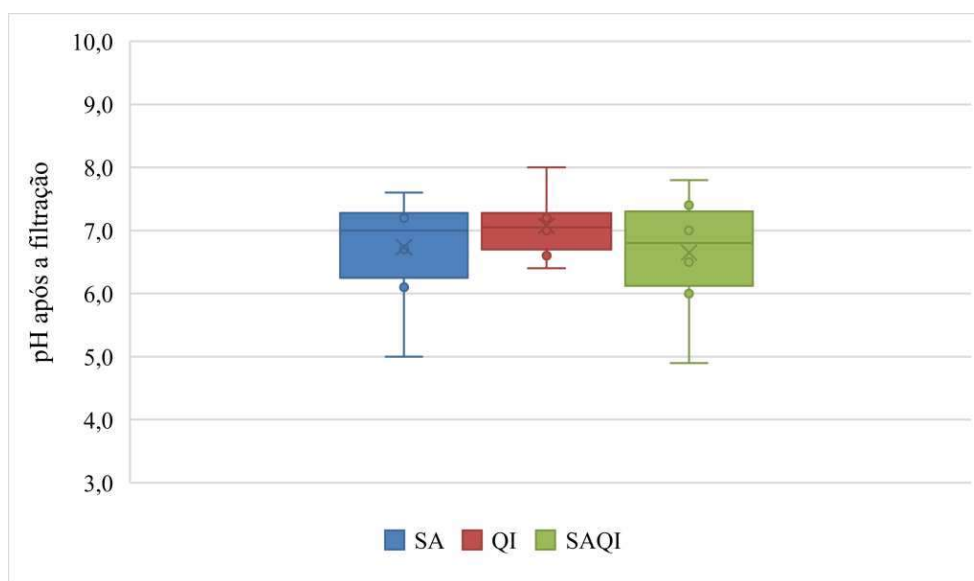
Fonte: Autora (2022).

De acordo com *boxplot* da Figura 19 para o pH antes da filtração e com o *boxplot* da Figura 20 para o pH após a filtração, para os dados após o tratamento com SA, QI e SAQI, observa-se que os dados não apresentaram nenhum *outlier*. Ademais, o maior intervalo interquartil para o pH antes e após a filtração foi para o SAQI, sendo 1,1 e 1,2, respectivamente. Para o pH antes da filtração, não houve simetria de dados para o coagulante SA, enquanto que, para o pH após a filtração para nenhum dos coagulantes utilizados obteve-se simetria dos dados.

Figura 19 - *Boxplot* do pH antes da filtração.



Fonte: Autora (2022).

Figura 20 - *Boxplot* do pH após a filtração.

Fonte: Autora (2022).

No estudo desenvolvido por Pereira, Meira e Sousa (2019), para tratar a água do Rio Amazonas, utilizando o quiabo e o sulfato de alumínio separados e associados, quanto maior a quantidade de sulfato de alumínio na solução, menores foram os valores de pH. Neste presente estudo, observou-se comportamento similar, quanto maior eram as dosagens de sulfato de alumínio, o pH decresceu.

Ainda de acordo com o estudo de Pereira, Meire e Sousa (2019), a maior parte das campanhas estudadas apresentaram valores mais expressivos de pH quando utilizado no tratamento a adição da solução com o pó do quiabo.

3.2.6 Resultados para o parâmetro temperatura

A Tabela 11 apresenta os valores obtidos para o parâmetro temperatura antes da filtração e a Tabela 12 apresenta os valores obtidos para o parâmetro temperatura após a filtração, ambos posteriormente ao tratamento com SA, QI e SAQI.

Tabela 11 - Valores obtidos para o parâmetro temperatura antes da filtração.

Dosagem (mL)	Água Bruta (°C)	SA (°C)	QI (°C)	SAQI (°C)
8,0	27,5	27,0	27,0	27,0
6,0	28,9	28,3	28,3	28,4
4,0	26,8	27,0	26,6	26,5
3,0	27,8	27,0	27,3	27,5
2,0	28,3	28,3	27,8	27,7
1,5	26,0	24,8	24,7	25,0
1,0	29,0	28,3	28,4	28,0
0,5	27,0	25,7	26,3	26,4
Média	27,66	27,1	27,1	27,1
Mediana	27,65	27,0	27,2	27,3
Mínimo	26,0	24,8	24,7	25,0
Máximo	29,0	28,3	28,4	28,4
Desvio Padrão	1,05	1,29	1,21	1,09

Fonte: Autora (2022).

Tabela 12 - Valores obtidos para o parâmetro temperatura após a filtração.

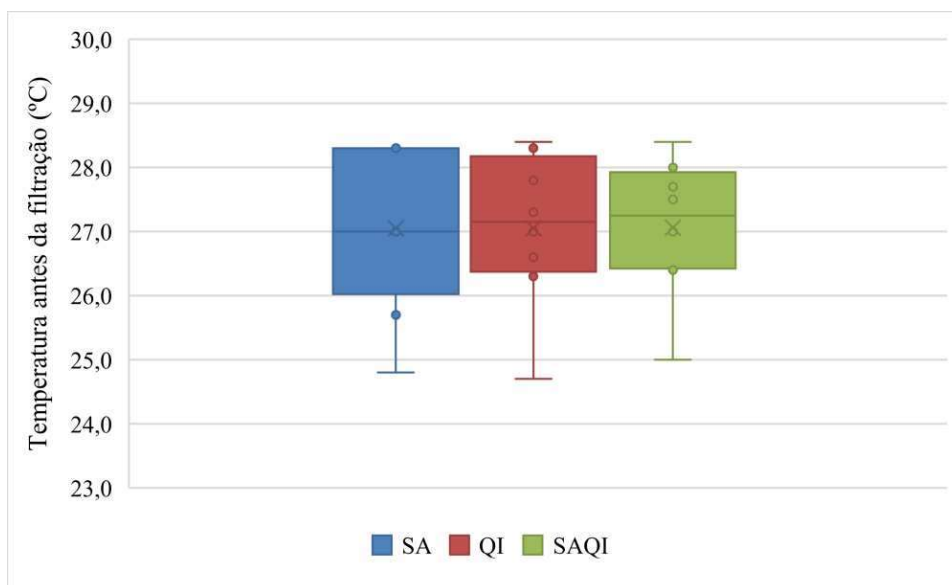
Dosagem (mL)	Água Bruta (°C)	SA (°C)	QI (°C)	SAQI (°C)
8,0	27,5	26,7	26,5	26,6
6,0	28,9	28,2	28,0	27,8
4,0	26,8	26,3	26,3	26,0
3,0	27,8	26,8	26,9	27,2
2,0	28,3	27,9	27,5	27,3
1,5	26,0	24,5	24,0	24,8
1,0	29,0	28,0	27,9	27,9
0,5	27,0	25,3	25,4	26,4
Média	27,66	26,71	26,56	26,75
Mediana	27,65	26,75	26,70	26,90
Mínimo	26,0	24,50	24,00	24,80
Máximo	29,0	28,20	28,00	27,90
Desvio Padrão	1,05	1,33	1,35	1,03

Fonte: Autora (2022).

Destaca-se que o parâmetro temperatura para a água tratada antes da filtração e após a filtração apresentou pouca variação, sendo que esta possivelmente se deu por consequência da queda de temperatura no laboratório em que o parâmetro foi medido. Também se observa que houve pouca variação de temperatura entre o tratamento com as soluções SA, QI e SAQI.

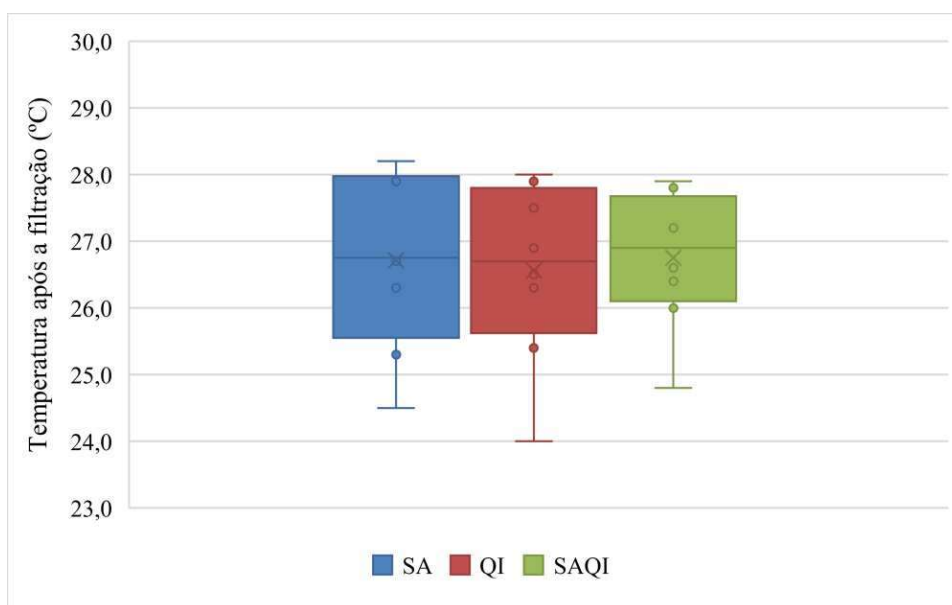
De acordo com *boxplot* da Figura 21 para a temperatura antes da filtração e com o *boxplot* da Figura 22 para a temperatura após a filtração, para os dados após o tratamento com SA, QI e SAQI, observa-se que os dados não apresentaram nenhum *outlier*. Ademais, o maior intervalo interquartil para a temperatura antes e após a filtração foi para o SA, sendo 2,28 °C e 2,43 °C, respectivamente. Para a temperatura antes da filtração, não houve simetria de dados para nenhum dos coagulantes utilizados, enquanto que, para a temperatura após a filtração não houve simetria dos dados para os coagulantes SA e SAQI.

Figura 21 - *Boxplot* da temperatura antes da filtração, em °C, da água tratada.



Fonte: Autora (2022).

Figura 22 - *Boxplot* da temperatura após a filtração, em °C, da água tratada.



Fonte: Autora (2022).

3.2.7 Dosagens adequadas

Diante dos dados apresentados observou-se que todas as situações estudadas com o uso de coagulantes/floculantes apresentaram remoção dos parâmetros estudados.

De forma particular, com o intuito de retratar as possibilidades que podem ser reproduzidas nas comunidades rurais/isoladas, buscou-se destacar dentre as dosagens estudadas, as que são mais viáveis para a utilização prática.

Assim, quanto as dosagens adequadas, notou-se que as que promoveram melhores eficiências de remoção com o pH dentro do limite estabelecido pela Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde (MS), para o sulfato de alumínio (SA) foram de 2,0 mL e 6,0 mL da concentração adotada, para o pó do quiabo (QI) foi de 0,5 mL da concentração adotada e para estes associados (SAQI) foi de 2,0 mL.

4 CONCLUSÃO

A água bruta utilizada neste presente estudo apresentou temperatura média de 27,66 °C, cor aparente média de 75,13 uC, turbidez média de 6,0 uT e pH entre 6,0 e 7,6, sendo, portanto, classificada como sendo Classe 2 de acordo com o CONAMA 396 e Tipo 2 de acordo com a NBR 12216.

Quanto a parâmetro físico cor aparente, nenhuma dosagem das concentrações do SA (solução com o sulfato de alumínio), QI (solução com o pó do quiabo) e SAQI (associação da solução do sulfato de alumínio com a solução do pó do quiabo) trouxe valores dentro do VMP pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, demonstrando a necessidade da filtração para obtenção de melhores resultados.

Ao que tange a turbidez antes da filtração, levando em consideração o VMP para o padrão organoléptico estabelecido pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, não houve atendimento a portaria para o SA com as dosagens de 8 mL e 1,5 mL, o QI com a dosagem de 8 mL, enquanto todas as dosagens com SAQI atenderam ao padrão.

Quanto a turbidez após a filtração, levando em consideração o VMP estabelecido pela Portaria nº 888 do Ministério da Saúde, houve atendimento a portaria para o SA com as dosagens de 6 mL, 4 mL, 2 mL e 0,5 mL, o QI apenas a dosagem de 1,5 mL, enquanto para o SAQI a dosagem que atendeu a portaria foi de 2 mL.

Para o parâmetro químico pH, só não houve atendimento a portaria para a dosagem de 8 mL, com as soluções SA e SAQI, provavelmente devido ao sulfato de alumínio ocasionar o decréscimo do pH da água quando utilizado em maiores quantidades. Ademais, ressalta-se que o tratamento usando somente o pó do quiabo não tem tendência de ocasionar decréscimo de pH.

Ressalta-se que a dosagem de 8 mL foi a maior dosagem estudada, sendo assim, possivelmente dosagens acima desta não trariam resultados significativos para o tratamento da água em estudo.

As temperaturas não sofreram abruptas mudanças no decorrer do tratamento de nenhuma das três soluções. Os pequenos declínios que ocorrem na temperatura foram ocasionados pela diminuição de temperatura através do sistema de climatização do laboratório.

As dosagens adequadas, sendo estas as que promoveram melhores eficiências de remoção com o pH dentro do limite estabelecido pela Portaria nº 888 de 2021 do Ministério da Saúde (MS), para o sulfato de alumínio (SA) foram de 2 mL e 6 mL da concentração adotada, para o pó do quiabo (QI) foi de 0,5 mL da concentração adotada e para estes associados (SAQI) foi de 2 mL.

Quanto às melhores eficiências de remoção, para cor aparente foi atingida utilizando SAQI, obtendo remoção de 59,26%, para a cor verdadeira ocorreu usando SA, obtendo remoção de 97,53%. Já para a turbidez antes da filtração a melhor eficiência de remoção foi atingida utilizando SAQI, obtendo eficiência de remoção de 80%, enquanto que para a turbidez após a filtração, as dosagens de 6 mL, 4 mL, 2 mL, 0,5 mL de SA, 1,5 mL de QI e 2 mL de SAQI, promoveram eficiência de remoção de 100%. Para a condutividade a dosagem de 6 mL de SAQI apresentou melhores eficiências de remoção.

Ademais, ressalta-se que todos os coagulantes estudados trouxeram situações de melhoria para a qualidade da água. Também foi observado que a etapa de filtração após a decantação traz resultados melhores ao que tange a eficiência de remoção de cor, turbidez e condutividade, sendo assim essencial.

Diante dos resultados obtidos para os tratamentos, os quais foram adaptados para entrarem em consonância com as possibilidades proporcionadas pelo laboratório utilizado e assim serem desenvolvidos, sugere-se para trabalhos futuros que estes sejam desenvolvidos com metodologias mais simples, como com o uso da luz solar para desidratação do quiabo, ou sem a etapa de peneiramento, e até mesmo com concentrações diferentes de coagulantes/floculante, para que assim, seja possível encontrar soluções que proporcionem ainda mais acessibilidade à população, em especial a rural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 12216. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, 1992.

ALMEIDA, T. S. de; LIMA, A. de J.; SOUZA, L de A.; MICHELAN, D. C. de G. S. Filtração em múltiplas etapas (FiME) modificada por materiais não convencionais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 170-190, 2021. DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i3.45440>.

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22 edition. Washington, 2012.

BRASIL, M. D. N. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – Visão Geral - 2020.** Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - Ministério das Cidades, 2021. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 04 de abril de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAs.** Brasília: FUNASA, 2014.

BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria do Gabinete do Ministro (GM) do Ministério da Saúde (MS) n 888, de 04 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. **Gabinete do Ministério.** p. 29, 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Portaria n. 396, de 07 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, v.66, Seção 1, p. 64-68, 07 abr. 2008.

CARNEIRO-MARRA, L.; SAD, L.; SILVA-BATISTA, M. Evaluation of mucilage and powder of Okra as bio-flocculant in water treatment. **Revista Ion**, v. 32, n. 2, p. 53-58, 2019. DOI:10.18273/revion.v32n2-2019005.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Apêndice D - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade**, 2013.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, p. 4, 2011.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de Tecnologia de Tratamento de Água.** São Carlos: Editora LDIBE LTDA, v. 2, p. 682, 2008.

FAHMI, M. R.; HAMIDIN, N.; ABIDIN, C. Z. A.; FAZARA, M. A. U.; HATIM, M. D. I. Performance evaluation of okra (*Abelmoschus esculentus*) as coagulant for turbidity removal in water treatment. **Key Engineering Materials**, v. 594-595, p. 226-230, 2014. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.226

KURNIAWAN, S. B.; ABDULLAH, S. R. S.; IMRON, M. F.; SAID, N. S. M.; ISMAIL, N. I.; HASAN, H. A.; OTHMAN, A. R.; PURWANTI, I. F. Challenges and opportunities of biocoagulant/bioflocculant application for drinking water and wastewater treatment and its potential for sludge recovery. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 24, p. 9312, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>.

LEE, C. S.; CHONG, M. F.; ROBINSON, J.; BINNER, E. Optimisation of extraction and sludge dewatering efficiencies of bio-flocculants extracted from *Abelmoschus esculentus* (okra). **Environ Manage.** Jul v.1, n. 157, p. 320-325, 2015. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.04.028.

LIBÂNIO, M. **Fundamento de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Editora Átomo, p. 28-134, 2010.

LIMA, G. J. de A. **Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto**. Dissertação de mestrado em engenharia ambiental, UERJ, Rio de Janeiro/RJ, p. 4-154, 2007.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. da S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, p. 713-735, 2018. DOI: 10.21577/1984-6835.20180052.

LIMA, P. R.; ALMEIDA, I. V. de; VICENTINI, V. E. P. Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: uma revisão. **Evidência**, Joaçaba v. 20, n. 1, p. 9-22, jan./jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.18593/eba.24704>.

MICHELAN, D. C. de G. S.; SANTOS, W. N. de A.; ROSA, T. S.; SANTOS, D. de G.; JESUS, R. de C. S. de. Uso do coagulante/floculante emergente à base de moringa no tratamento de água com verificação da composição e toxicidade do lodo produzido: tratamento de água com Moringa e toxicidade do lodo. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 26, n. 5, p. 955-963, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200314>.

PÁDUA, V. L. D.; HELLER, L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, p. 299-322, 2010.

PEREIRA, T. I. O.; MEIRA, L. D. A. S.; SOUSA, M. E. A. Uso da mucilagem do quiabo como agente floculante no tratamento da água do rio Amazonas. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, XXVIII. **Anais**. Belo Horizonte, 2019.

QUEIROZ NETO, M. L.; MEDEIROS, M. K. S.; FLORÊNCIO, F. D. C.; SOUZA JÚNIOR, P. L. Análise da qualidade da água subterrânea utilizada no abastecimento urbano: um estudo de caso em poços tubulares no município de São Rafael/RN. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Campina Grande/PB, VII. **Anais**. Campina Grande, 2016.

QUESADA, H. B.; VERNASQUI, L. G.; SOUZA, R. M. de; TEIXEIRA, G. G.; MEDEIROS, F. V. da S. **Influência da concentração e do tempo de sedimentação no uso de *Abelmoschus Esculentus* (L.) Moench (quiabo) como auxiliar de floculação**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, v. 16, n. 29, 2019. DOI: 10.18677/EnciBio_2019A181.

RITTER, C. M. **Estudo da utilização de polímeros naturais Abelmoschus esculentus (L.) Moench (Malvaceae) e Moringa oleifera Lam (Moringaceae) no tratamento de água de abastecimento.** 2013. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2013.

SANTOS JÚNIOR, J. L. dos; SANTOS, L. A. R. dos; LIMA, A. de. J; MICHELAN, D. C. de G. S. Tratamento de água por filtração lenta com meio filtrante composto de areia e resíduo sustentável de maravalha. In: Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe, XIII. **Anais.** Aracaju, 2020.

SANTOS, W. N. de A.; MICHELAN, D. C. de G. S.; SANTOS, D. de G.; BATISTA, I. F. Avaliação do uso dos coagulantes sulfato de alumínio e tanino vegetal em parâmetros de tratamento de água para abastecimento humano. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 1, n. 14, p. 23-34, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22411/rede2020.1401.02>.

SILVA, E. M. S.; SILVA, A. C.; RIBEIRO, A. S.; CRUZ, S. H. Uso do quiabo (*Abelmoschus Esculentus*) como floculante na desestabilização de emulsões óleo/água. **HOLOS**, v. 3, p. 256-263, 2014. DOI: <https://doi.org/10.15628/holos.2014.1774>.

SILVA, E. de S. O uso de coagulantes orgânicos no tratamento de água como forma de gerar conhecimento na área de química. In: 13º congresso nacional de iniciação científica CONIC SEMESP. **Anais.** Campinas, p. 1-6, 2013.

SILVA, J. da S. E. **Estudo da utilização de polímeros naturais como auxiliares de floculação no tratamento de água para fins industriais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Pará. Belém, 2012.