

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

ISABELLA DE SOUZA VIEIRA

**TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM  
PERMANGANATO DE POTÁSSIO UTILIZANDO COAGULANTE  
ORGÂNICO EXTRAÍDO DE *Moringa oleífera*.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2021

**ISABELLA DE SOUZA VIEIRA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM  
PERMANGANATO DE POTÁSSIO UTILIZANDO COAGULANTE  
ORGÂNICO SALINO EXTRAÍDO DA SEMENTE DE *Moringa oleífera*.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sergio Theodoro

**LONDRINA**

**2021**

## TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO DE ÁGUAS CONTAMINADAS COM PERMANGANATO DE POTÁSSIO UTILIZANDO COAGULANTE ORGÂNICO SALINO EXTRAÍDO DA SEMENTE DE *Moringa oleífera*.

Por

Isabella de Souza Vieira

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

Data de aprovação: 17 de Dezembro de 2021.

---

Prof. Dr. Rafael Montanhini Soares de Oliveira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Prof. Dr. Ajadir Fazolo  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Profa. Dra. Joseane Debora Peruço Theodoro  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a meus pais, Marcia e Marcos, por todo apoio e paciência e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Obrigada por

Agradeço a minha orientadora Prof. Dr. Joseane Debora Peruço Theodoro e ao coorientador Prof. Paulo Sergio Theodoro pela orientação e empenho ao desenvolver este trabalho, pela disponibilidade em atender minhas dúvidas e pelo companheirismo ao realizar os experimentos em laboratório.

A UTFPR Campus Londrina por ceder os laboratórios e os equipamentos necessários para realizar o estudo.

Também a todos os Professores de graduação do curso de Engenharia Ambiental que acompanharam essa jornada ao longo dos anos.

A todos amigos que fizeram parte da minha formação e estiveram presentes nos momentos acadêmicos e de lazer.

Ao meu fiel companheiro, Flocos, pelos momentos de alegria e amor.

## RESUMO

Poluentes emergentes tem sido estudados e caracterizados para entender e conseqüentemente diminuir suas conseqüências no meio ambiente, que ainda são desconhecidas. O Permanganato de Potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) se encaixa nesse grupo devido a sua presença no meio aquático a partir de diferentes fontes, levando a interação com outros compostos e podendo trazer conseqüências ainda pouco conhecidas e estudadas. A utilização do coagulante orgânico a base de *Moringa oleífera* tem ganho importância devido a suas características que ajudam nos processos de tratamento da água. Este trabalho tem como proposta demonstrar a utilização do coagulante orgânico salino extraído de sementes de *Moringa oleífera* no tratamento de soluções contendo o poluente emergente Permanganato de Potássio, demonstrando sua eficácia quando utilizados em diferentes concentrações. Visando demonstrar os efeitos do tratamento foram analisados os parâmetros de turbidez e pH. O experimento foi realizado pelo método espectrofotométrico para medir a concentração de  $\text{KMnO}_4$  ao final do tratamento. Após as etapas de floculação e coagulação foram retiradas amostras em duplicata, onde uma passou pelo processo de filtração, para assim ser analisado a remoção de  $\text{KMnO}_4$  da solução mostrando sua eficiência, além de realizar a medição parâmetros de turbidez e pH. Os resultados demonstraram que a utilização do coagulante orgânico se mostrou eficaz na remoção do poluente emergente, apresentando taxas de remoção de até 94,7% do composto. Em relação a turbidez foi observado que todas as amostras em que a filtração foi realizada apresentaram valores menores do que quando comparados às que não passaram pelo processo, demonstrando a importância da sua utilização para a redução do parâmetro. Devido a características da solução coagulante contendo *Moringa oleífera* o parâmetro pH não demonstrou alterações representativas, onde todos os ensaios apresentaram valores aproximados, mesmo considerando a utilização de volumes diferentes em cada um deles.

Palavras-chave: Permanganato de Potássio; Poluente Emergente; *Moringa oleífera*.



## ABSTRACT

Emerging pollutants are being studied and characterized in order to understand and decrease their consequences in the environment, many of which are still unknown. Potassium Permanganate ( $\text{KMnO}_4$ ) is considered to be a part of that group due to its presence in the aquatic environment, coming from different sources and interacting with other compounds, bringing consequences that are still unknown and being studied. The usage and study of organic coagulants from *Moringa oleifera* seeds on water treatments have gained importance due to its ability to improve the potability of water. This work has the purpose of showing the usage of the organic saline coagulant from *Moringa oleifera* in the treatment of solutions containing  $\text{KMnO}_4$ , showing its efficiency when used in different concentrations, and also observing parameters such as pH and turbidity. The experiment was carried out using the spectrophotometric method to find the  $\text{KMnO}_4$  concentration after the treatment. At the end of the flocculation and coagulation processes, samples were taken in duplicate, one of which was filtrated, to demonstrate the removal of  $\text{KMnO}_4$  in each test, showing its efficiency and also observing the behavior of turbidity and pH. The results showed that the usage of the organic coagulant was efficient in the removal of the emerging pollutant in all tests, presenting removal rates as far as 94,7%. Turbidity results showed that filtrated samples had lower values when compared to unfiltered ones, demonstrating the importance of using filters to improve results. Due to *Moringa oleifera* coagulant solute characteristics, pH didn't show significant alterations, with all samples showing approximately the same results, even when using different volumes of coagulant and  $\text{KMnO}_4$  solute.

Key-words: Potassium Permanganate; Emerging pollutants; *Moringa oleifera*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura química do Permanganato de Potássio .....	11
Figura 2: Permanganato de Potássio utilizado no preparo.....	12
Figura 3: Solução Branco a esquerda e Solução Estoque a direita. ....	13
Figura 4: Sementes de Moringa no processo de preparo da Solução Coagulante. ...	16
Figura 5: Cloreto de Sódio utilizado no preparo da Solução Coagulante. ....	16
Figura 6: Preparo dos ensaios no aparelho Jar-Test. ....	17
Figura 7: Mudança de cor nos ensaios ao longo do processo. ....	18
Figura 8: Fluxograma do processo de análise dos ensaios. ....	19
Figura 9: Gráfico de Pareto da concentração de $\text{KMnO}_4$ – Dados sem filtro.....	26
Figura 10: Gráfico de Pareto da concentração de $\text{KMnO}_4$ – Dados com filtro.....	27
Figura 11: Tabela ANOVA da Concentração de $\text{KMnO}_4$ – Dados sem filtro.....	27
Figura 12: Tabela ANOVA da Concentração de $\text{KMnO}_4$ – Dados com filtro.....	28
Figura 13: Gráfico de Superfície da Concentração de $\text{KMnO}_4$ – Dados sem filtro....	28
Figura 14: Gráfico de Superfície da Concentração de $\text{KMnO}_4$ – Dados com filtro....	29
Figura 15: Gráfico do parâmetro turbidez – Dados sem filtro.....	30
Figura 16: Gráfico de Pareto parâmetro turbidez – Dados com filtro .....	31
Figura 17: Tabela ANOVA parâmetro turbidez – Dados sem filtro.....	31
Figura 18: Tabela ANOVA parâmetro turbidez – Dados com filtro.....	31
Figura 19: Gráfico do parâmetro turbidez – Dados sem filtro.....	32
Figura 20: Gráfico do parâmetro turbidez – Dados com filtro.....	33
Figura 21: Gráfico do parâmetro pH – Dados sem filtro .....	34
Figura 22: Gráfico do parâmetro pH – Dados com filtro .....	35
Figura 23: Tabela ANOVA parâmetro pH – Dados sem filtro .....	35
Figura 24: Tabela ANOVA parâmetro pH – Dados com filtro .....	35
Figura 25: Gráfico de superfície do parâmetro pH – Dados sem filtro.....	36
Figura 26: Gráfico de superfície do parâmetro pH – Dados com filtro.....	37



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Determinação de onda de absorção da solução de permanganato de potássio $3,0 \times 10^{-3}$ mol/L. ....	13
Tabela 2: Curva de calibração da solução de $\text{KMnO}_4$ . ....	15
Tabela 3: Configuração das etapas realizadas no Jar-test. ....	18
Tabela 4: Organização numérica dos ensaios em diferentes níveis de concentração de solução estoque e coagulante. ....	19
Tabela 5: Relação de ensaios e planejamento experimental. ....	22
Tabela 6: Resultados de eficiência de remoção de $\text{KMnO}_4$ (%). ....	23

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva de Absorção de $\text{KMnO}_4$ .....	14
Gráfico 2: Curva de Calibração. ....	15
Gráfico 3: Concentração de Permanganato de Potássio ( $\text{KMnO}_4$ ).....	21
Gráfico 4: Eficiência de remoção de Permanganato de Potássio ( $\text{KMnO}_4$ ).....	23
Gráfico 5: Análise do parâmetro turbidez. ....	24
Gráfico 6: Análise do parâmetro pH. ....	25

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO</b> .....	<b>5</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
<b>3. 1 USO E DISPONIBILIDADE DA ÁGUA</b> .....	<b>6</b>
<b>3. 2 TRATAMENTO DE ÁGUA</b> .....	<b>6</b>
<b>3.2.1 Coagulação</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2.2 Floculação</b> .....	<b>7</b>
<b>3.2.3 Sedimentação</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2.4 Filtração</b> .....	<b>8</b>
<b>3. 3 COAGULANTES</b> .....	<b>8</b>
<b>3.3.1 Moringa oleífera</b> .....	<b>9</b>
<b>3. 4 POLUENTES EMERGENTES</b> .....	<b>9</b>
<b>3.4.1 Permanganato de Potássio</b> .....	<b>11</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
<b>4.1 AMOSTRAGEM</b> .....	<b>12</b>
<b>4.2 PREPARO DA SOLUÇÃO DE PERMANGANATO DE POTÁSSIO</b> .....	<b>12</b>
<b>4.2.2 Procedimento de Varredura de Espectral</b> .....	<b>13</b>
<b>4.2.3.1 Curva de calibração da solução de Permanganato de Potássio (KMnO<sub>4</sub>)</b> .....	<b>14</b>
<b>4.3 PREPARO DA SOLUÇÃO COAGULANTE DE MORINGA OLEIFERA</b> .....	<b>16</b>
<b>4.4 ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>4.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>19</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>21</b>

<b>5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2.1 Comportamento da concentração de Permanganato de Potássio .....</b>	<b>26</b>
<b>5.2.2 Comportamento do parâmetro turbidez.....</b>	<b>30</b>
<b>5.2.3 Comportamento do parâmetro pH.....</b>	<b>34</b>
<b><i>REFERÊNCIAS.....</i></b>	<b>40</b>
<b><i>APÊNDICE I – RESULTADOS GERAIS.....</i></b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a quantidade e qualidade dos recursos hídricos faz com que a gestão do uso da água seja atrelada a observação de possíveis contaminações de mananciais de abastecimento. A partir destes, a sociedade retira o necessário para sua sobrevivência, além de que o consumo está ligado diretamente a saúde do ser humano que pode sofrer com a presença de substâncias presentes.

Poluentes emergentes são substâncias que vem apresentando destaque e chamando atenção, não possuindo características ou propriedades fixas que a distinguem como quais, mas sim devido a que ,apenas recentemente, tem-se descoberto suas propriedades e interações no meio devido aos novos métodos analíticos, que graças a sua sensibilidade, são capazes de detectar a presença dos mesmos em baixíssimas concentrações nos corpos hídricos. Desta maneira, um composto químico pode ser estudado a partir do momento que é identificado na água, podendo ser estudado suas características, interações com o meio e com outras substâncias, além dos possíveis efeitos para o ser humano.

Neste contexto, a presença de poluentes emergentes em corpos hídricos põe em questionamento a qualidade da água consumida, ainda mais quando vasta maioria destes componentes não estão relacionados a parâmetros ou legislações de qualidade de água ao redor do Mundo devido a vasta gama desses compostos que podem ser caracterizados como quais e a falta de conhecimento sobre a maioria deles. A introdução contínua ao longo dos anos nos ecossistemas aquáticos pode trazer consequências ainda desconhecidas, deteriorando as águas de abastecimento público, já que em sua maioria são resistentes ao tratamento convencional de esgotos.

A presença de substâncias como Permanganato de Potássio que já são classificadas como poluentes emergentes tem sido observada em diferentes corpos hídricos. Advindos de medicamentos ou produtos de uso cosmético, como não são retirados no processo de tratamento de esgoto acabam atingindo os mananciais de abastecimento onde mais uma vez não são tratados no processo nas estações de tratamento de água e acabam sendo ingeridas pela população mesmo que me baixas concentrações, que muitas vezes parecem inofensivas.

Visando trazer soluções que tem como meta facilitar e aumentar o acesso à água potável, têm cada vez mais sido procuradas alternativas de tratamento de água que sejam economicamente viáveis coagulador a base de *Moringa oleifera* vem trazendo resultados que evidenciam o potencial do agente. Devido a sua características físico-químicas o extrato a partir das sementes da espécie vem chamando a atenção pelos resultados relacionados a sua eficiência no processo de coagulação e diminuição da turbidez de amostras.

Desta maneira, esse trabalho visa demonstrar o estudo do tratamento pelo processo de coagulação, floculação e sedimentação do poluente emergente Permanganato de Potássio, utilizando como agente coagulante orgânico o extrato salino extraído de sementes de *Moringa oleifera* estudando a sua utilização para a remoção da substância no meio aquático.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho tem como objetivo demonstrar a utilização de *Moringa oleífera* como agente coagulante orgânico para tratar amostras de água com presença de poluente emergente Permanganato de Potássio.

### 2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Analisar a eficácia da remoção do poluente emergente em amostras contaminadas com Permanganato de Potássio, utilizando *Moringa oleífera* como agente coagulante orgânico;

- Analisar a eficiência do tratamento da água do estudo por meio da coagulação, floculação, sedimentação quando utilizado também o processo de filtração;
- Analisar parâmetros de pH e turbidez das amostras tratadas.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3. 1 USO E DISPONIBILIDADE DA ÁGUA**

A água é um fator limitante do desenvolvimento humano e sua demanda ao longo dos anos vem aumentando a medida que deve atender necessidades pessoais, atividades econômicas e sociais de uma população crescente, exercendo papel na saúde, economia e qualidade de vida humana.

Sendo o elemento em maior concentração na superfície da Terra, ocupa 75% em sua forma líquida e sólida (GRASSI, 2001), onde apenas 0,3% dessa é diretamente aproveitável, estando em sua maioria armazenada nos lençóis freáticos (RICHTER, 1991). De acordo com a Agência Nacional de Águas – ANA, estima-se que o Brasil possua cerca de 12% da água doce disponível do planeta, se concentrando principalmente na região Norte do país. Junto ao aumento pela demanda e consumo excessivo, a poluição dos corpos hídricos dificulta o tratamento das águas e conseqüentemente o abastecimento a população.

O lançamento de efluentes em cursos d'água trazem inúmeros problemas ambientais desde a própria contaminação das águas superficiais aos lençóis freáticos, que se tornam vetores contaminantes (MONACO, 2010).

A poluição dos recursos hídricos pode ser resultada de fontes pontuais e não pontuais, também conhecidas como fontes difusas. As fontes pontuais podem ser identificadas e diagnosticadas já que os poluentes atingem o corpo hídrico de forma concentrada e muitas vezes constante. Já as fontes difusas atingem os corpos hídricos de forma intermitente e por diferentes meios de difusão que dificulta sua localização e controle posteriormente (SODRÉ, 2012).

Diante do problema da necessidade de fornecer o abastecimento de água para a sociedade e os desafios impostos pela sua disponibilidade, é necessário estudar e desenvolver novos tratamentos que visem diminuir os diferentes poluentes encontrados nas matrizes hídricas para aumentar o ciclo de vida da água.

#### **3. 2 TRATAMENTO DE ÁGUA**

O tratamento de água envolve processos que tem como finalidade garantir o fornecimento de água potável para ser consumida a partir da captação em corpos hídricos, seu tratamento e a distribuição a população.



A estação de tratamento de água – ETA, é formada por um conjunto instalações e equipamentos destinados a realização das etapas de tratamento de água. Quimicamente busca-se fazer o tratamento necessário para atingir os parâmetros legislativos de qualidade de água que envolve o uso de floculadores, decantadores, filtro, cloração e correção de pH (IBGE, 2020). Dessa forma, o tratamento da água pode ser resumido no processo de coagulação, floculação e sedimentação para posterior filtração e desinfecção.

### 3.2.1 Coagulação

Coagulação é o processo de mistura de produtos químicos de caráter coagulantes com água a ser tratada de maneira a causar a desestabilização das partículas coloidais suspensas, incluindo microrganismos e contaminantes, se agreguem formando partículas maiores, que por apresentar maior dimensão facilitam sua retirada nas etapas seguintes do tratamento da água (IBGE, 2020). O tipo de coagulante utilizado, sua concentração, gradiente de velocidade e tempo de mistura afetam diretamente no processo de coagulação.

A eficiência deste processo depende das características da água e de suas impurezas relacionadas por parâmetros de pH, cor verdadeira, turbidez, alcalinidade, condutividade elétrica e tamanho e distribuição das partículas em suspensão (DI BERNARDO, 2005).

### 3.2.2 Floculação

Após a etapa de coagulação é realizada a agitação lenta da água para induzir o processo de floculação, onde ocorre o choque entre as partículas que se aglomeram e formam flocos de maior tamanho, facilitando o processo de sedimentação (IBGE, 2020). Nesta fase ainda não ocorre a remoção das partículas, é um processo preparatório para a fase de sedimentação.

O processo ocorre em floculadores onde a agitação controlada induz os mecanismos de adesão das partículas relacionado ao processo de coagulação realizado anteriormente o transporte do fluido sejam os responsáveis pela eficiência da etapa (SILVEIRA, 2017).

De acordo com Howe *et al.* (2006), existem dois tipos de floculação: microfloculação, onde a agregação ocorre devido ao movimento aleatório do fluido;

e microfloculação, quando a agregação das partículas resulta da indução do gradiente de velocidade e mistura suave do fluido.

### 3.2.3 Sedimentação

A etapa de sedimentação consiste na deposição dos materiais em suspensão após a etapa de floculação através da ação da gravidade, onde as partículas mais densas sedimentam ao fundo e a água isenta desses flocos é chamada de água decantada (IBGE, 2020). A velocidade de sedimentação depende das características físico-químicas da água, além da eficiência dos agentes coagulantes e do processo de floculação.

### 3.2.4 Filtração

O processo de filtração consiste na separação das partículas sólidas no meio líquido através de um meio poroso que retém os sólidos, funcionando através da ação da gravidade ou sob pressão (IBGE, 2020). Dentre os materiais utilizados em estações de tratamento encontram-se areias de diferentes granulometrias e carvão, podendo ser utilizados separadamente ou em conjunto em camadas alternadas.

## 3.3 COAGULANTES

Coagulantes são substâncias químicas, podendo ser de natureza orgânica ou inorgânica, que tem como função realizar a precipitação de compostos em soluções desestabilizando as partículas coloidais que formam o efluente, que não são removidas pelos processos de sedimentação, flotação ou filtração (IBGE, 2020). O coagulante através de reações químicas desestabiliza as partículas coloidais que assim se aglomeram e formar coágulos que possuem partículas maiores que podem ser decantadas.

A utilização de contaminantes naturais ajuda a controlar problemas relacionados ao consumo de água não potável e ao despejo de águas residuárias, em sua maioria sem tratamento, nos mananciais de abastecimento (MONACO, 2010), mostrando vantagens em relação ao seu custo-benefício, biodegradabilidade, baixa toxicidade e baixa produção de produção de lodo residual (MATOS, 2004).

### 3.3.1 *Moringa oleífera*

A *Moringa oleífera*, conhecida popularmente como moringa ou acácia-branca, pertence a família Moringaceae composta por um único gênero e 13 espécies conhecidas além da *M. oleífera*. Adaptada a diferentes regiões desde subtropicais secas e úmidas até tropicais muito secas a florestas úmidas, se ajusta bem a uma faixa ampla de solos, preferindo solos neutros e levemente ácido (RANGLE, 1999).

Sua utilização é muito ampla, desde fonte de alimento para consumo humano e animal devido ao alto nível proteico, uso ornamental, uso medicinal devido a sua característica bactericida, produção de óleo a partir da semente, a Moringa também pode se utilizada no tratamento químico da água como agente coagulante, onde a partir de estudos vem apresentando bons resultados ajudando na diminuição da turbidez, da cor e coliformes presentes na água (EMBRAPA, 1999).

Em relação a sua composição, sua concentração pode variar entre 33% de proteínas, 37% de lipídeos e 44% de ácido oleico. Devido a sua alta concentração proteica de caráter catiônica, o extrato da semente age como agente clarificante no tratamento da água, desestabilizando as partículas contidas na água e por meio dos processos de neutralização e adsorção realiza o processo de floculação dos coloides (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Devido a sua eficiência cada vez sendo mais estudada e comprovada, sua utilização mostra ser uma opção viável para o tratamento de águas já que não apresenta riscos à saúde quando utilizada em baixas concentrações no processo de tratamento da água. De acordo com Oliveira *et al.* (2018), ainda é recomendado que junto a Moringa ainda sejam utilizados outros processos que envolvem as etapas de coagulação, floculação e sedimentação para obter resultados compatíveis ao exigido legalmente no país.

## 3. 4 POLUENTES EMERGENTES

Por definição o significado de emergente remete a algo que surge; procede ou é consequência; que resulta de (EMERGENTE, 2021). Poluentes emergentes são substâncias químicas, não necessariamente descobertas recentemente, de diferentes origens e natureza cujo presença no meio ambiente e suas consequências ainda são pouco conhecidas, mas tem cada vez mais chamado a atenção (FONSECA, 2013). Presentes no ambiente em quantidades baixas, esses

contaminantes ainda não estão incluídos em programas de monitoramento por órgãos de saúde, assim como em legislações, devido a exploração recente do assunto.

O lançamento contínuo ao longo dos anos desses poluentes vem ocorrendo inúmeras formas de maneira quase despercebida devido a suas concentrações, mas a descoberta, detecção e monitoramento desses compostos tem sido possível graças ao desenvolvimento de novos métodos de detecção e tecnologias analíticas que surgiram na última década (DEY *et al.*, 2019).

Assim como ocorreu anteriormente, alguns grupos de compostos que até então não eram vistos como um problema podem futuramente vir a ser tratados como poluentes emergentes, já que suas características ainda não foram exploradas. Por esse motivo a necessidade de conhecer os comportamentos, interações, impactos e tratamentos desses compostos no meio aquático tem se mostrado cada vez mais importante, para assim criar soluções e tratamentos específicos e eficientes (DEY *et al.*, 2019).

A lista de compostos químicos do grupo tem se expandido desde então, com a introdução de novos produtos químicos comerciais, novas formas de uso e de suas interações químicas com outros compostos, além da identificação de novas moléculas (Rodriguez-Narvaez *et al.*, 2017). Como exemplo pode-se citar os pesticidas, produtos fármacos, cosméticos e produtos de cuidado pessoal, produtos de limpeza, e produtos químicos industriais, que são frequentemente encontrados em esgotos, corpos receptores e copos de abastecimento.

Compostos farmacêuticos são um importante grupo dentro dos poluentes emergentes e a presença desses compostos em corpos hídricos tem gerado preocupações já que mesmo em baixas concentrações se apresenta como ameaça potencial aos organismos aquáticos e a saúde humana (SOUZA, 2011).

A ingestão desses compostos podem causar reações químicas no organismo agindo como disruptores endócrinos que causam alterações do sistema endócrino humano, além de apresentarem efeitos sob o sistema imunológico, reprodutor, entre outros (FONSECA, 2013).

É estimado que aproximadamente três mil substâncias diferentes são usadas na composição de remédios como antibióticos, contraceptivos, anti-inflamatórios, antidepressivos, estimulantes e analgésicos, entre outros, onde destes se conhece pouco das interações e consequências ao meio ambiente.

Já os produtos de uso pessoal incluem produtos como protetor solar, adstringentes, fragrâncias, repelentes de inseto, entre uma gama de outros, que são utilizados externamente de tal maneira que não ocorram reações químicas estruturais e logo são destinados aos corpos hídricos.

#### 3.4.1 Permanganato de Potássio

O Permanganato de Potássio é um composto químico inorgânico formado por íons de Potássio ( $K^+$ ) e Permanganato ( $MnO_4^-$ ). Tem ação antibacteriana e antifúngica, sendo usado para a limpeza de feridas internas (úlceras) ou abscessos, e problemas dermatológicos como dermatoses, eczemas ou catapora. Também pode ser utilizado em lavagens gástricas.

Seu mecanismo de ação se dá por conta de sua característica oxidativa que confere propriedades desinfetantes. Os íons resultantes da redução do composto têm efeito adstringente, sendo possível oxidar outras substâncias químicas e até mesmo venenos.

De acordo com a Ficha de Informação de Produto Químico da CETESB (Anexo I), o composto possui solubilidade na água de 8 g/100mL de água a 25°C, não apresentando reatividade química com a água. Sua neutralização e disposição final deve ser feita pela neutralização até precipitar o composto utilizando sulfeto para assim enterrar o material em aterro químico. Como demonstrado na ficha, não existem padrões ou limites de toxicidade estabelecidos.

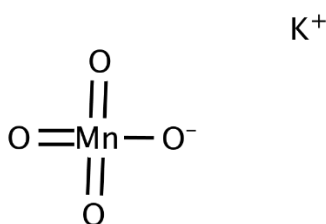


Figura 1: Estrutura química do Permanganato de Potássio  
Fonte: Discovery Fine Chemicals. Disponível em: < Potassium Permanganate - 7722-64-7 - Discovery Fine Chemicals (discofinechem.com)>

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 AMOSTRAGEM

Para verificar a retirada dos poluentes emergentes utilizando o coagulante orgânico salino extraído das sementes de *Moringa Oleifera* como agente coagulante foi preparado soluções contendo as substâncias em questão como descrito dos próximos tópicos.

O início do estudo ocorreu com o preparo da água de estudo contaminada com Permanganato de Potássio. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Saneamento e Recursos Hídricos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no município de Londrina.

### 4.2 PEPARO DA SOLUÇÃO DE PERMANGANATO DE POTÁSSIO

A solução contendo o Permanganato de Potássio foi reparada de acordo com o Association of Official Analytical Chemists (1995) com dosagem determinada pelo método espectrométrico. Foram utilizados 500 mL de solução  $\text{KMnO}_4$   $3,0 \times 10^{-3}$  mol/L (solução estoque) adicionados a 7 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Para o preparo da solução  $\text{KMnO}_4$   $3,0 \times 10^{-3}$  mol/L foram utilizadas 0,238g de Permanganato de Potássio (Figura 2), calculados considerando a massa molar da substância.



Figura 2: Permanganato de Potássio utilizado no preparo.  
Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a solução denominada como Branco foram adicionados 14 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado completados com 1000 mL com água destilada em um balão volumétrico.

Para o preparo de 100 mL de solução KMnO<sub>4</sub> 3,0 x 10<sup>-4</sup> mol/L a partir da solução estoque de permanganato 3,0 x 10<sup>-3</sup> mol/L foram utilizados 10 mL de solução e utilizado o branco para realizar a diluição. A Figura 3 demonstra as duas soluções trabalhadas em questão.

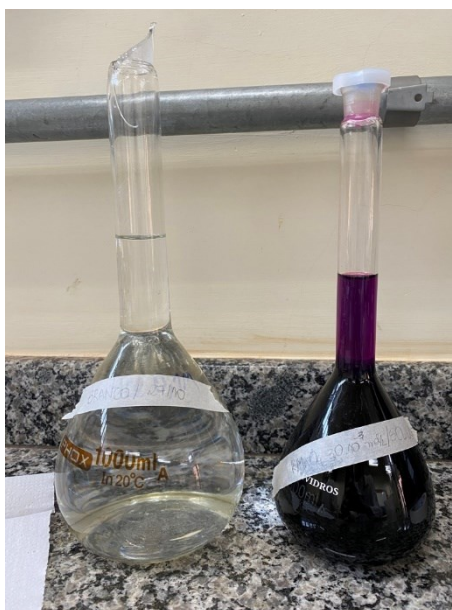


Figura 3: Solução Branco a esquerda e Solução Estoque a direita.  
Fonte: Autoria própria, 2021.

#### 4.2.2 Procedimento de Varredura de Espectral

O procedimento de Varredura Espectral foi realizado visando descobrir o comprimento de onda onde ocorre a maior absorbância do Permanganato de Potássio. Foram realizadas leituras de comprimento de onda ( $\lambda$ ) em intervalos de 20 nm entre 450 e 690 nm onde o aparelho, em sequência, disponibiliza a taxa de absorbância respectiva, conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Determinação de onda de absorção da solução de permanganato de potássio 3,0 x 10<sup>-3</sup> mol/L.

$\lambda$ (nm)	Absorbância
450	0,036
470	0,116
490	0,293

510	0,485
515	0,498
520	0,581
525	0,635
530	0,599
550	0,448
570	0,344
590	0,07
600	0,047

Fonte: Autoria própria, 2021.

Realizando a varredura nos intervalos pré-definidos foi observado maiores valores entre os comprimentos de onda 510 e 530 nm, desta maneira os intervalos nesse espaço foram diminuídos em 5 nm para verificar onde se localizava o pico de absorbância. O procedimento demonstrou que no comprimento de onda de 525 nm ocorria a maior absorbância da solução, como indicado no Gráfico 1.

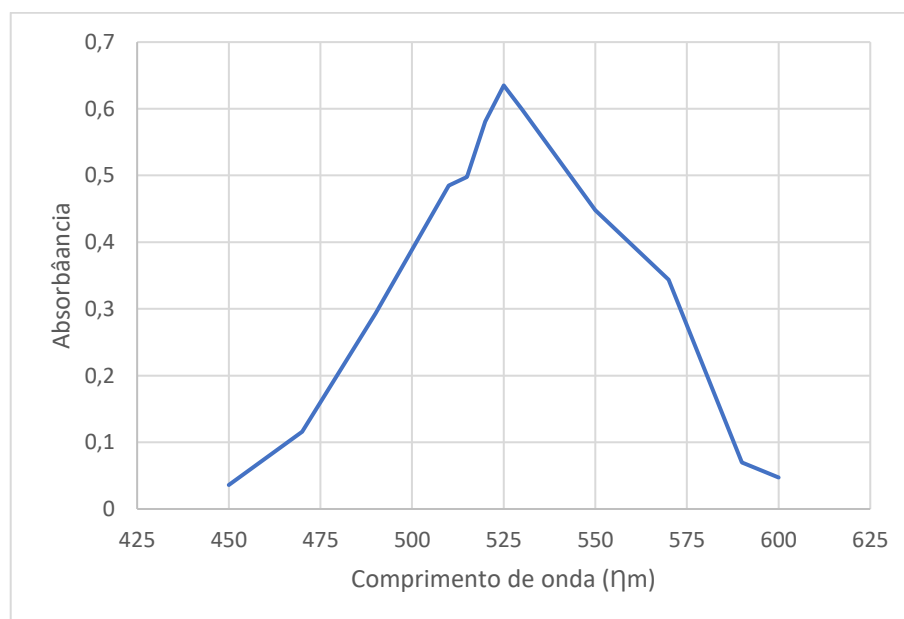


Gráfico 1: Curva de Absorção de KMnO<sub>4</sub>.

Fonte: Autoria própria, 2021.

#### 4.2.3.1 Curva de calibração da solução de Permanganato de Potássio (KMnO<sub>4</sub>)

A partir da solução estoque ( $3,0 \times 10^{-3}$  mol/L), foram realizadas as diluições usando balão de 25 mL para fazer a Curva de calibração da solução de Permanganato de Potássio (KMnO<sub>4</sub>) (Tabela X).



Tabela 2: Curva de calibração da solução de KMnO<sub>4</sub>.

Tubo	Concentração de KMnO <sub>4</sub> (mol/L)	Volume de KMnO <sub>4</sub> (mL)	Volume de Branco(mL)	Absorbância
Branco	0	0	25	0
1	0,00042	3,5	21,5	0,969
2	0,00072	6	19	1,666
3	0,00102	8,5	16,5	2,365
4	0,00132	11	14	3,18
5	0,00162	13,5	11,5	3,85

Fonte: Autoria própria, 2021.

Utilizando os dados da Tabela 2 foi possível traçar a curva de calibração da solução de Permanganato de Sódio, onde a partir da regressão linear foi estabelecido a equação  $y = 0,0004x + 10^{-5}$  que descreve a relação entre absorbância (eixo x) com a concentração KMNO<sub>4</sub> em mol/L (eixo y) como demonstrado no Gráfico 2. Com esta equação é possível transformar os dados encontrados posteriormente no experimento para verificar a se ocorre a remoção de Permanganato após o tratamento.

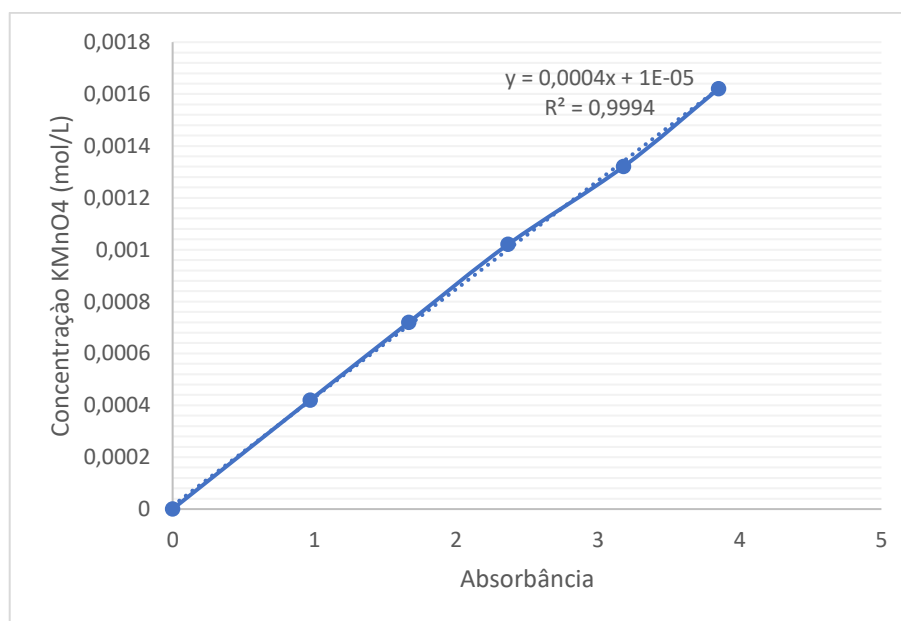


Gráfico 2: Curva de Calibração.

Fonte: Autoria própria, 2021.

### 4.3 PREPARO DA SOLUÇÃO COAGULANTE DE *MORINGA OLEIFERA*

Para a preparação da solução do coagulante orgânico *Moringa oleífera*, foi descascado e pesado 10,049g de semente da *Moringa oleífera* (Figura 4).



Figura 4: Sementes de Moringa no processo de preparo da Solução Coagulante.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Para complementar a solução foi pesado 1,009g de NaCl (Figura 5) e adicionado 1 L de água destilada, sendo necessário agitar bem a solução para que o sal se dissolvesse totalmente, sendo a solução salina NaCl 1g/L.



Figura 5: Cloreto de Sódio utilizado no preparo da Solução Coagulante.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Por último, tritura-se os 10g das sementes juntamente com a solução salina no liquidificador. Feito isso, a solução foi filtrada com auxílio de um coador de pano, obtendo-se a solução salina do coagulante *Moringa oleifera* na concentração de 10 g/L.

#### 4.4 ENSAIO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO

Os ensaios de coagulação e floculação utilizando o coagulante *Moringa oleifera* foram realizados no equipamento Jar-Test, onde cada amostra será misturada com o agente coagulante para assim ser realizado o teste. O aparelho dispõe de seis pás rotatórias que permitem realizar seis ensaios simultaneamente na velocidade (rpm) escolhida.

Desta maneira foi disposto no aparelho as amostras contendo a solução estoque devidamente homogeneizadas e para então serem misturados aos coagulantes preparados, cada um em um recipiente com as devidas concentrações conforme explicito no planejamento experimental (Figura 6).

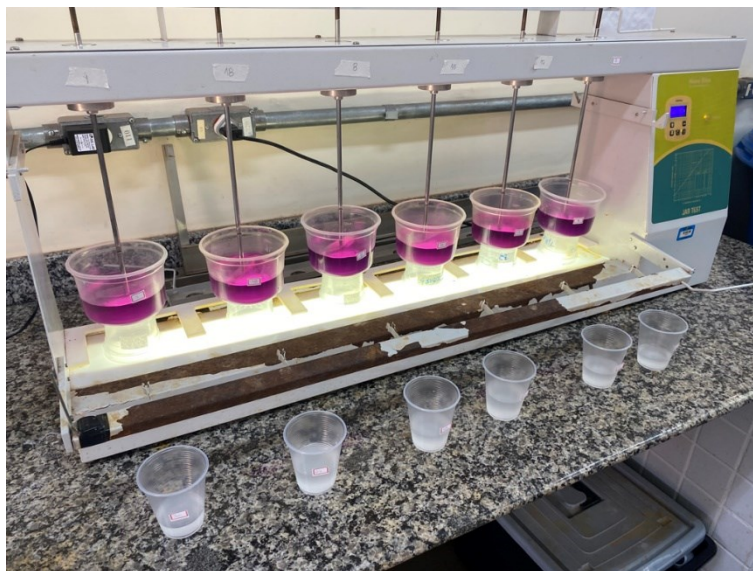


Figura 6: Preparo dos ensaios no aparelho Jar-Test.

Fonte: Autoria própria, 2021.

Foi programado no equipamento uma mistura rápida com agitação de 100 rpm de 3 min e uma mistura lenta com agitação de 15 rpm e tempo de 10 min, logo após foi esperado 10 minutos com o aparelho já desligado para realizar a sedimentação, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3: Configuração das etapas realizadas no Jar-test.

Etapa	Gradiente de velocidade	Tempo de mistura/repouso
Coagulação	100 rpm	3 min
Floculação	15 rpm	10 min
Sedimentação	-	10 min

Fonte: Autoria própria, 2021.

Após estes procedimentos, foi aguardado 10 minutos para a sedimentação e então, colhidas as amostras de todos os jarros ao mesmo tempo para as análises. Neste procedimento foi verificado a mudança de coloração em alguns recipientes além da formação de flocos (Figura 7).

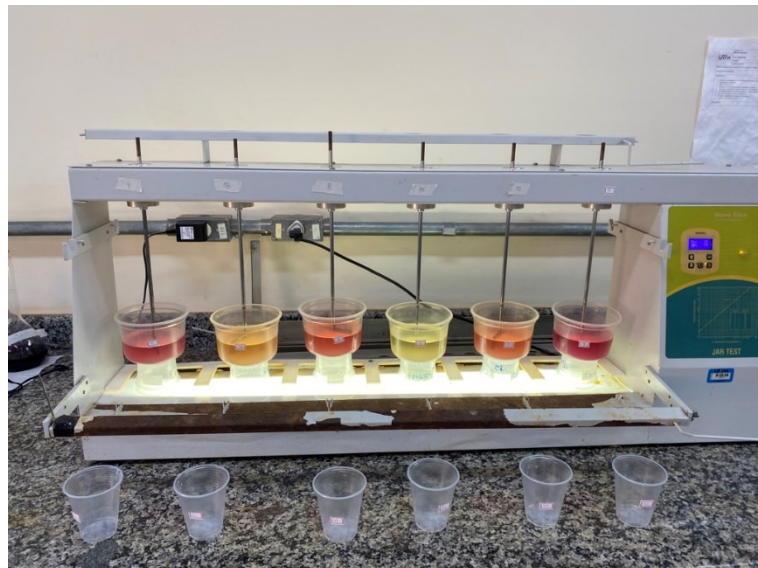


Figura 7: Mudança de cor nos ensaios ao longo do processo.

Fonte: Autoria própria.

Em seguida foi realizada a amostragem de cada ensaio em duplicata, sendo uma filtrada com filtro de café para então serem feitas as leituras no espectrofotômetro em comprimento  $\lambda=525 \text{ nm}$ . Desta maneira dentre os 18 ensaios foram realizadas 36 análises dos parâmetros de concentração de  $\text{KMnO}_4$ , turbidez e pH, conforme demonstrado na Figura 8.

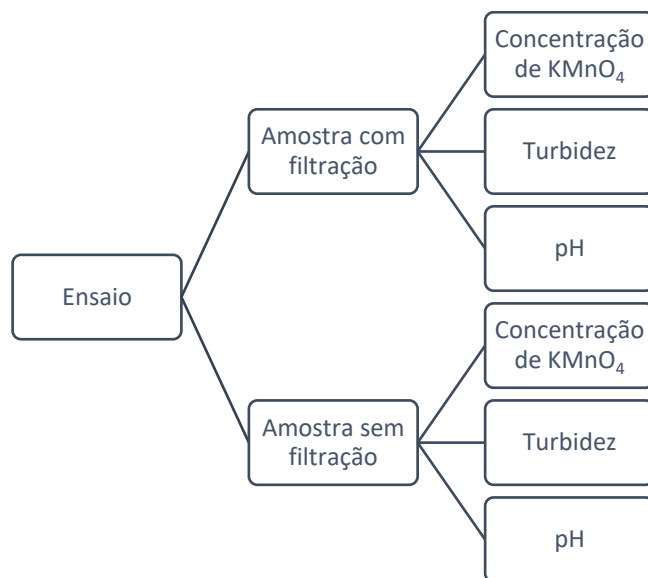


Figura 8: Fluxograma do processo de análise dos ensaios.

Fonte: Autoria própria.

#### 4.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

A Tabela 4 representa o planejamento estatístico com dois fatores (variáveis independentes): concentração da solução estoque e concentração de coagulante, com 3 níveis (-1,0,1) em duplicata (planejamento fatorial). Os volumes utilizados em cada solução foram definidos anteriormente a partir da concentração do Permanganato de Potássio.

Os volumes utilizados para a diluição da Solução Estoque foram de 16, 24 e 32 mL, enquanto o volume de Solução Coagulante foi de 32, 48 e 64 mL.

Tabela 4: Organização numérica dos ensaios em diferentes níveis de concentração de solução estoque e coagulante.

Planejamento Estatístico			Resposta		
Ensaio	Volume de solução estoque (mL)	Volume de coagulante (mL)	Concentração Permanganato de Potássio	Turbidez	pH
4	0 (24)	-1 (32)			
18	1 (32)	1 (64)			
8	1 (32)	0 (48)			
15	0 (24)	1 (64)			
17	1 (32)	0 (48)			
7	1 (32)	-1 (32)			
1	-1 (16)	-1 (32)			
3	-1 (16)	1 (64)			
14	0 (24)	0 (48)			
12	-1 (16)	1 (64)			

<b>2</b>	-1 (16)	0 (48)		
<b>10</b>	-1 (16)	-1 (32)		
<b>11</b>	-1 (16)	0 (48)		
<b>16</b>	1 (32)	-1 (32)		
<b>9</b>	1 (32)	1 (64)		
<b>13</b>	0 (24)	-1 (32)		
<b>5</b>	0 (24)	0 (48)		
<b>6</b>	0 (24)	1 (64)		

Fonte: Autoria própria.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS COLETADAS

Após a amostragem foram realizadas as leituras dos parâmetros absorvância, turbidez e pH. Os valores encontrados são apresentados no Apêndice I.

### 5.2 ANÁLISE DOS PARÂMETROS

#### 5.2.1 Comportamento da concentração de Permanganato de Potássio

Utilizando a equação  $y = 0,0004x + 10^{-5}$  encontrada pela Curva de Calibração descrita anteriormente no tópico 4.2.3.1 foi possível transformar os valores de absorvância de cada ensaio realizado para descobrir a concentração de Permanganato de Potássio em casa amostra.

Conforme demonstrado no Gráfico 3 houve diminuição de Permanganato de Potássio em todos os ensaios, estando todos abaixo da concentração inicial das soluções estoque utilizadas.

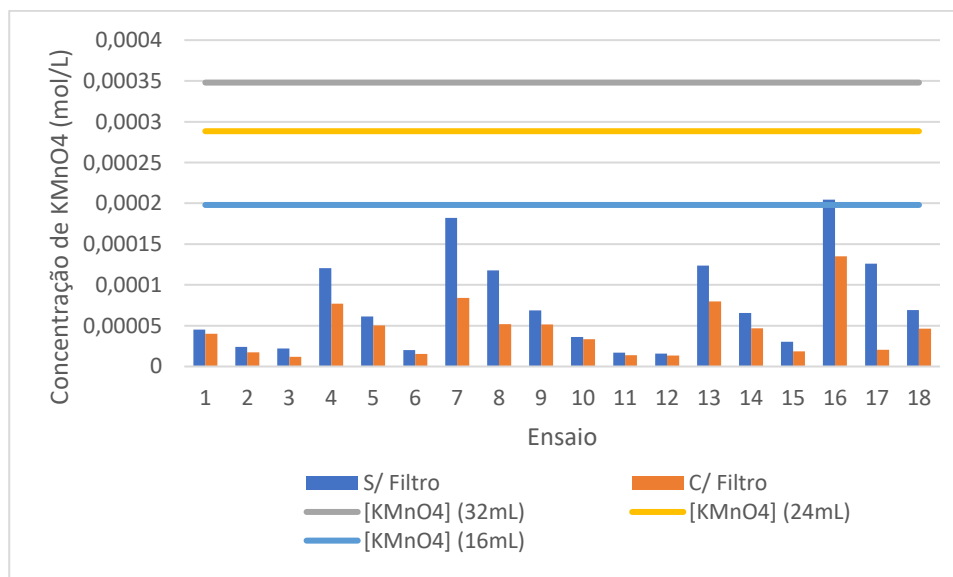


Gráfico 3: Concentração de Permanganato de Potássio (KMnO<sub>4</sub>).

Fonte: Autoria própria.

Os ensaios 2, 3, 6, 11, 12 e 15 apresentaram ao final do processo os menores valores de concentração KMnO<sub>4</sub>, demonstrando a remoção da substância de maneira satisfatória. De acordo com o planejamento estatístico demonstrado anteriormente pela Tabela 4 observa-se que tais ensaios citados são duplicatas de

maneira que os ensaios 2 e 11 apresentam volumes de solução estoque e coagulante de (-1;0), enquanto os ensaios 3 e 12 apresentaram volumes de (-1;1) e nos ensaios 11 e 15 foram utilizados volumes (0;1), conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5: Relação de ensaios e planejamento experimental.

Ensaio	Planejamento Experimental	Vol. Solução Estoque (mL)	Vol. Solução Coagulante (mL)
2	(-1,0)	16	32
3	(-1,1)	16	64
6	(0,1)	24	64
11	(-1,0)	16	32
12	(-1,1)	16	64
15	(0,1)	24	64

Fonte: Autoria própria.

Isto confirma a efetividade do tratamento de Permanganato de Potássio utilizando Solução Coagulante quando utilizado em tais concentrações, onde nestes casos o volume de solução coagulante foi sempre o dobro ou mais do que usada de solução estoque.

Quando comparando as amostras filtradas com não filtradas o Gráfico 3 demonstra que todas amostras filtradas apresentam menores valores de concentração residual demonstrando a eficiência no tratamento da solução contendo  $\text{KMnO}_4$  com o extrato salino da semente da *Moringa Oleifera*.

O Gráfico 4 demonstra a eficiência de remoção de Permanganato de Potássio em cada amostra levando em consideração a concentração inicial e ao fim do processo de tratamento.



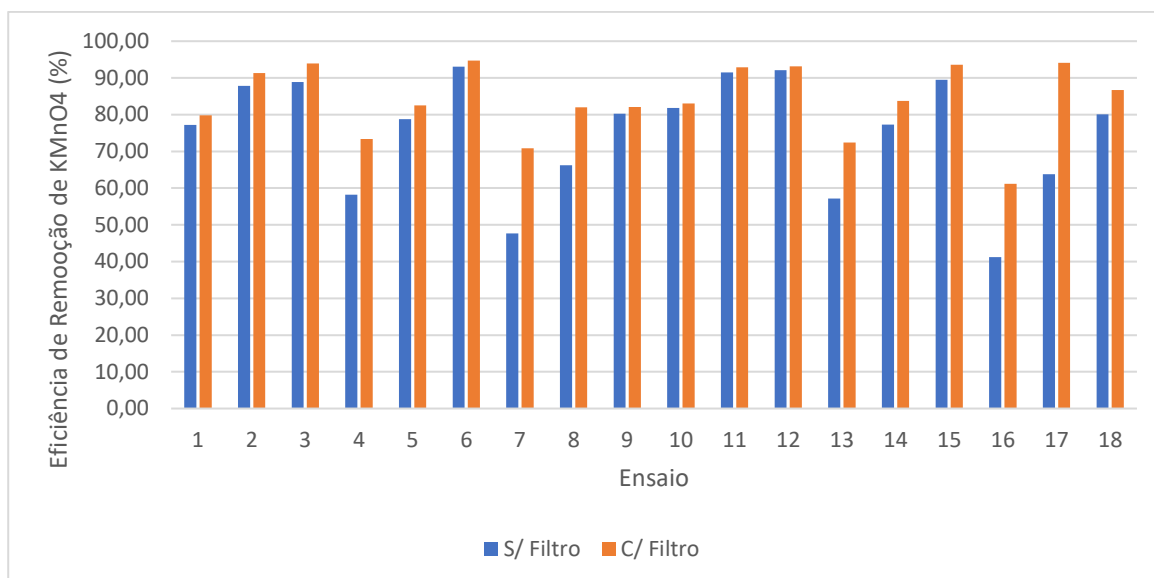


Gráfico 4: Eficiência de remoção de Permanganato de Potássio (KMnO<sub>4</sub>).

Fonte: Autoria própria.

A Tabela 7 demonstra os dados referentes ao Gráfico 4, trazendo o percentual de eficiência de remoção ao final do tratamento, observa-se que todas as amostras demonstraram redução do parâmetro. Na Tabela 7 observa-se em vermelho as amostras que não ultrapassaram 80% de eficiência, enquanto em verde é destacado as amostras que ultrapassaram tal valor. Ao total 22 amostras apresentaram eficiência igual ou superior a 80% conforme demonstrado a seguir:

Tabela 6: Resultados de eficiência de remoção de KMnO<sub>4</sub> (%).

Ensaio	Amostra S/ Filtro	Amostra C/ Filtro
1	77,2	79,8
2	87,9	91,3
3	88,9	93,9
4	58,3	73,4
5	78,8	82,5
6	93,1	94,7
7	47,7	70,9
8	66,2	82,0
9	80,2	82,1
10	81,8	83,0
11	91,5	92,9
12	92,1	93,1
13	57,1	72,4
14	77,3	83,8
15	89,5	93,6

16	41,3	61,1
17	63,8	94,1
18	80,1	86,7

Fonte: Autoria própria.

### 5.2.2 Comportamento do parâmetro turbidez

Os dados dos ensaios resultantes das análises dos resultados disponíveis no Apêndice I representados pelo Gráfico 4 mostram a remoção do parâmetro turbidez após os processos realizados com e sem filtração, comparando as amostras e ensaios em diferentes concentrações de Solução Estoque e Solução Coagulante.

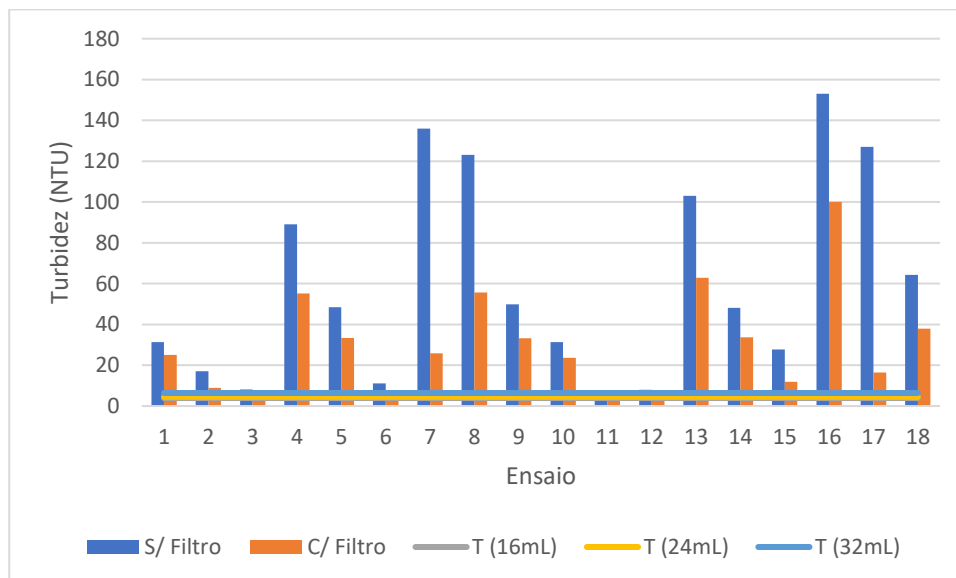


Gráfico 5: Análise do parâmetro turbidez.

Fonte: Autoria própria.

Conforme pode ser observado no Gráfico 4 na maior parte dos ensaios houve aumento a turbidez quando comparado antes da mistura entre solução estoque e coagulante. Apenas a amostra 6 quando filtrada apresentou valor menor de turbidez após o tratamento, esse ensaio teve suas variáveis independentes no planejamento experimental como (0,1), ou seja, volume de solução estoque de 24 mL e de solução coagulante de 64 mL. Porém, sua réplica não obteve o mesmo resultado, estando acima da turbidez inicial.

De acordo com Madrona (2010), a concentração de solução coagulante salina influencia na eficiência de remoção de turbidez de maneira que a mesma por possuir caráter protéico aumenta a ação coagulante no meio, ocorrendo assim maior remoção do parâmetro turbidez.

De maneira geral observou-se menores valores de turbidez quando as amostras foram filtradas, isso se deve as partículas de *Moringa Oleifera* que foram retidas no processo de filtração.

### 5.2.3 Comportamento do parâmetro pH

O potencial hidrogênico representa a concentração de íons  $H^+$  que caracterizam uma solução como ácida, básica ou neutra em uma escala de 0 a 14, onde baixos valores estão associados a acidez e altos são associados a basicidade. É um importante parâmetro nas etapas de coagulação e filtração da água, trabalhadas nesse estudo.

Para analisar o parâmetro pH é necessário realizar a caracterização das amostras de Permanganato de Potássio e da solução coagulante em diferentes concentrações quanto ainda não misturadas para apontar a relação entre as duas soluções após o processo realizado no Jar-Test.

O Gráfico 6, resultante da análise dos resultados disponibilizados no Apêndice I, apresenta os valores de variação de pH após os processos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, quando realizada, em diferentes concentrações de Permanganato de Potássio e da solução coagulante a base de *Moringa oleífera*.

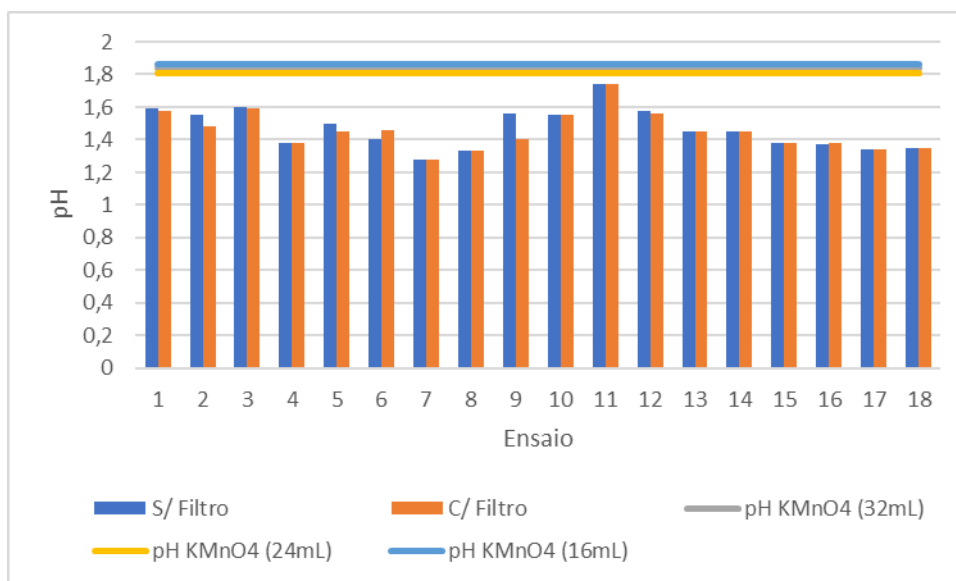


Gráfico 6: Análise do parâmetro pH.

Fonte: Autoria própria.

Por meio da análise do Gráfico 6 observou-se que houve pouca variação no pH das amostras mesmo quando em diferentes concentrações e quando filtradas ou não. Conclui-se uma pequena diminuição dos valores quando comparados a solução estoque inicialmente, demonstrando que a solução coagulante causou pequena diminuição do pH das soluções.

Em seus estudos Madrona (2011) e Valverde et. al (2013) apontou que a utilização do coagulante salino extraído a partir de *Moringa Oleifera* não provoca alterações significativas no parâmetro pH no processo de tratamento de águas.

## 5.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS

As análises estatísticas foram realizadas usando o Software Statistica 14.00.15 onde foram realizadas análises em função das variáveis analisadas seguindo o planejamento experimental descrito na metodologia no item 4.5.

### 5.2.1 Comportamento da concentração de Permanganato de Potássio

As Figuras 9 e 10 trazem o Diagrama de Pareto referentes a variável concentração de  $\text{KMnO}_4$  com e sem filtro, respectivamente, após o tratamento.

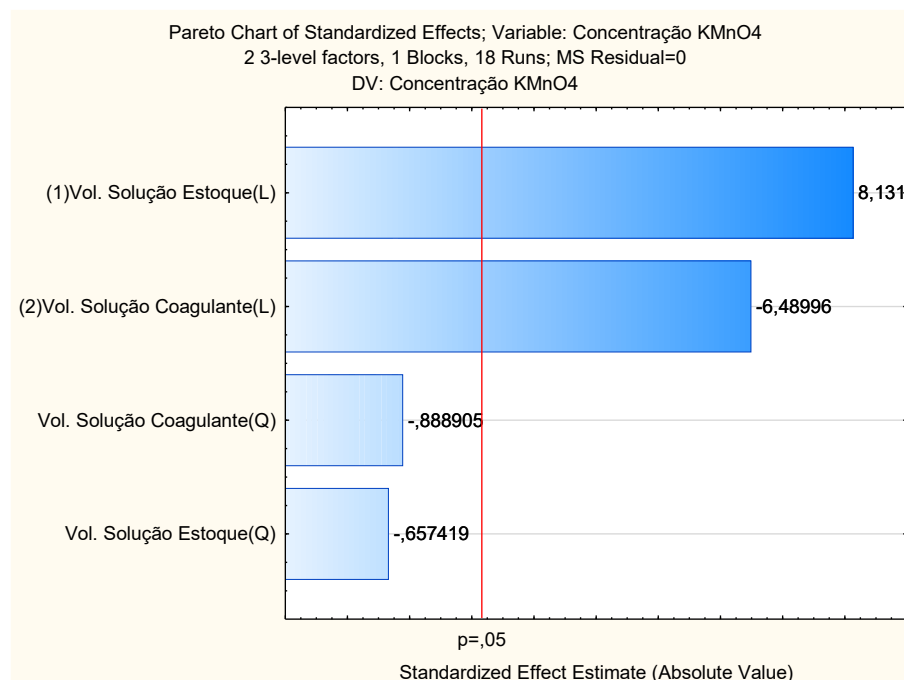


Figura 9: Gráfico de Pareto da concentração de  $\text{KMnO}_4$  – Dados sem filtro.

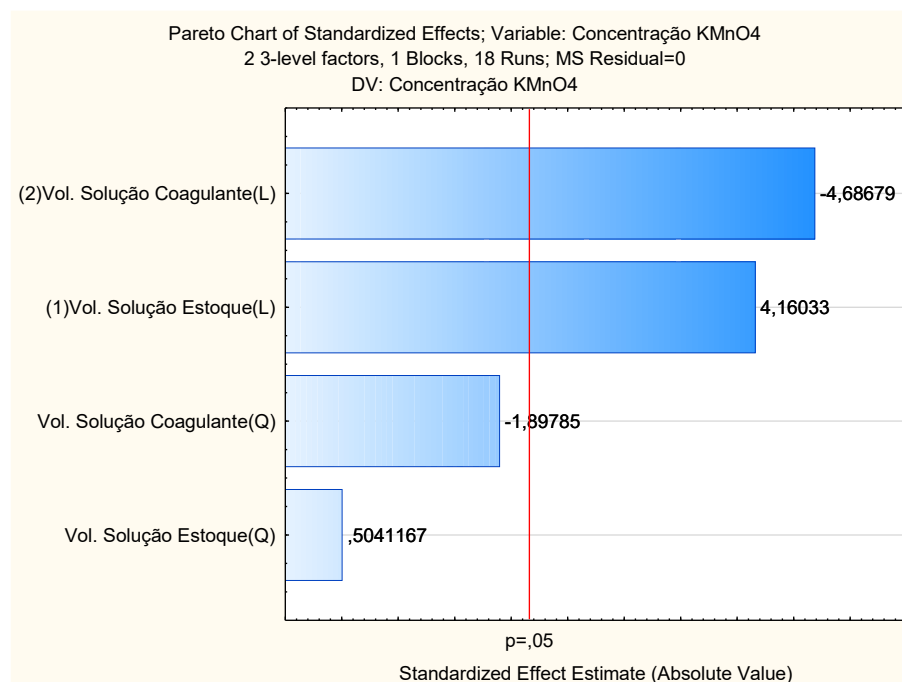


Figura 10: Gráfico de Pareto da concentração de  $\text{KMnO}_4$  – Dados com filtro.

O Gráfico de Pareto demonstra a relação entre as variáveis independentes ordenando os comportamentos que exercem maior participação em relação a um parâmetro observado. Desta maneira observa-se que na Figura 9 e Figura 10 os parâmetros significativos foram a solução do coagulante e a dosagem da solução estoque.

Na Figura 11 e 12 são mostrados os resultados da análise ANOVA que demonstra que  $p < 5\%$  valor significativo foram os parâmetros a solução do coagulante e a dosagem da solução estoque.

ANOVA; Var.:Concentração KMnO4; R-sqr=,89384; Adj.,86118 (Dados Sem Filtro) 2 3-level factors, 1 Blocks, 18 Runs; MS Residual=0 DV: Concentração KMnO4					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Vol. Solução Estoque(L)	0,000000	1	0,000000	66,11575	0,000002
Vol. Solução Estoque(Q)	0,000000	1	0,000000	0,43220	0,522382
(2)Vol. Solução Coagulante(L)	0,000000	1	0,000000	42,11957	0,000020
Vol. Solução Coagulante(Q)	0,000000	1	0,000000	0,79015	0,390206
Error	0,000000	13	0,000000		
Total SS	0,000000	17			

Figura 11: Tabela ANOVA da Concentração de  $\text{KMnO}_4$  – Dados sem filtro.

ANOVA; Var.:Concentração KMnO <sub>4</sub> ; R-sqr=,7684; Adj:,69713 (Dados Com Filtro) 2 3-level factors, 1 Blocks, 18 Runs; MS Residual=0 DV: Concentração KMnO <sub>4</sub>					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Vol. Solução Estoque(L)	0,000000	1	0,000000	17,30834	0,001119
Vol. Solução Estoque(Q)	0,000000	1	0,000000	0,25413	0,622615
(2)Vol. Solução Coagulante(L)	0,000000	1	0,000000	21,96601	0,000425
Vol. Solução Coagulante(Q)	0,000000	1	0,000000	3,60184	0,080144
Error	0,000000	13	0,000000		
Total SS	0,000000	17			

Figura 12: Tabela ANOVA da Concentração de KMnO<sub>4</sub> – Dados com filtro.

As Figuras 13 e 14 apresentam os gráficos de superfície das amostras não filtradas e filtradas para os parâmetros KMnO<sub>4</sub>, respectivamente. As Figuras 13 e 14 demonstram a concentração de kMnO<sub>4</sub> (eixo z) em função dos volumes de solução estoque (eixo x) e volume de solução coagulante (eixo y) escolhidos no planejamento experimental variando no intervalo de (-1,1).

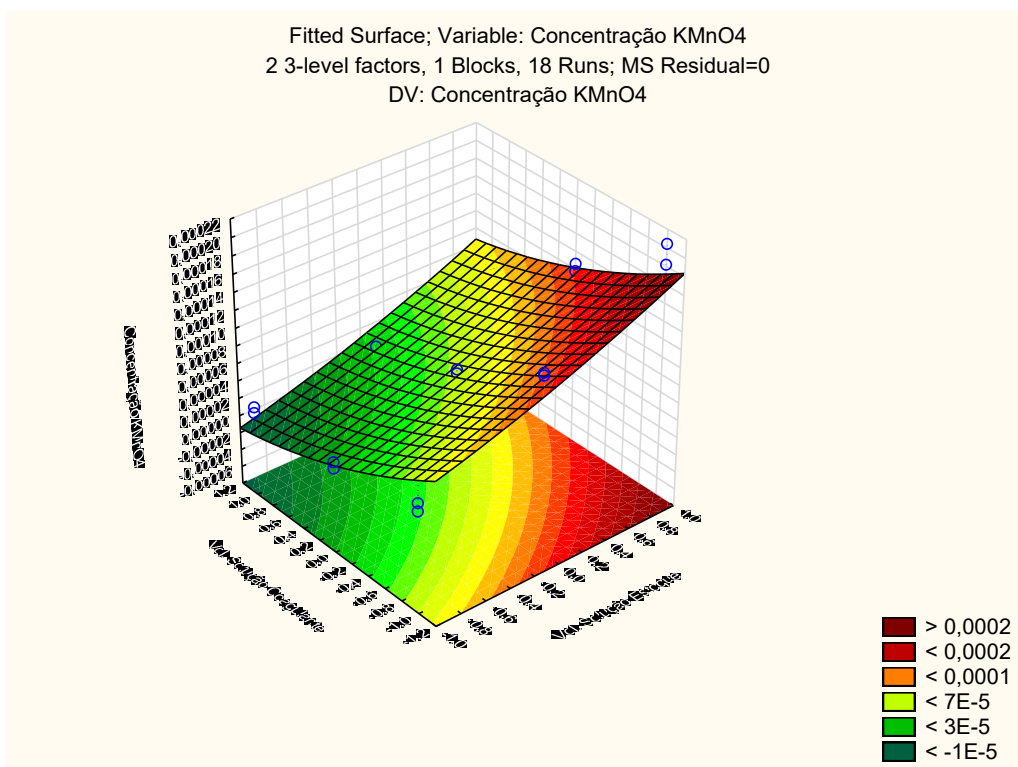


Figura 13: Gráfico de Superfície da Concentração de KMnO<sub>4</sub> – Dados sem filtro.

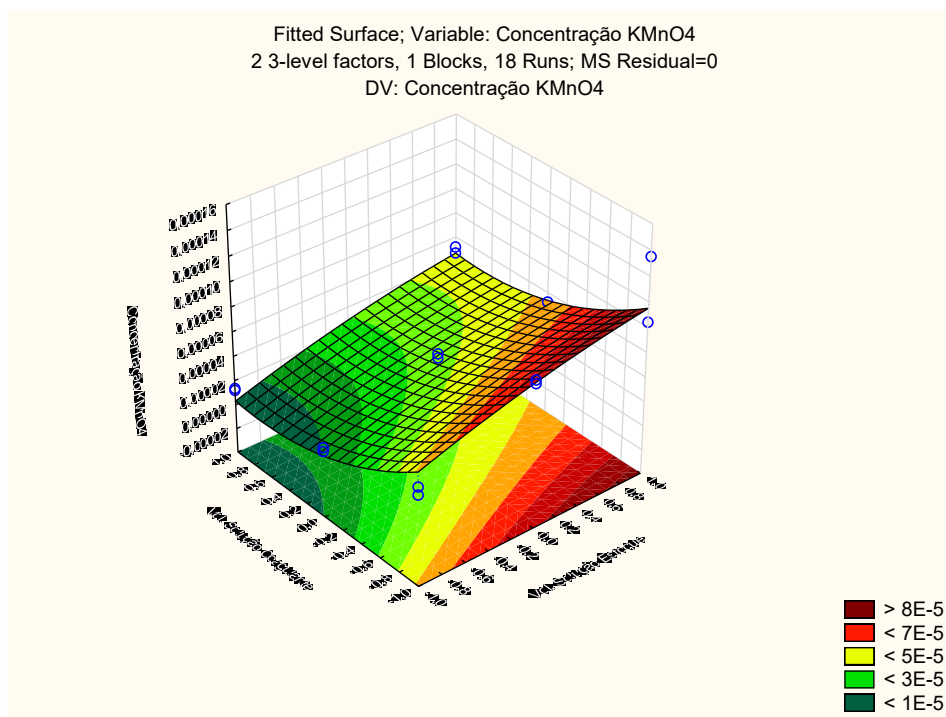


Figura 14: Gráfico de Superfície da Concentração de KMnO<sub>4</sub> – Dados com filtro.

Pode-se verificar nas Figuras 13 e 14 que a superfície se encaminha para valores mais baixos quando utilizados menores volumes de solução estoque com maiores volumes de solução coagulante, resultando em menores valores no eixo z representando a concentração final de Permanganato de Potássio ao final do processo de tratamento para ambas amostras quando filtradas ou não.

Ainda comparando às análises das amostras não filtradas e filtradas, observa-se que os valores finais de concentração de KMnO<sub>4</sub> foram ainda mais baixos quando as amostras passaram pelo processo de filtração.

A partir das Figuras 13 e 14 o software Statistica disponibiliza as equações 1 e 2 que representam o comportamento das variáveis em função do parâmetro observado. Considerando que o eixo x representa o volume de solução estoque (V.E), o eixo y representa o volume de solução coagulante (V.C) e o eixo z representa a concentração final de Permanganato de Potássio ([KMnO<sub>4</sub>]), temos então para os ensaios realizados sem filtro a equação juntamente com seu coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>):

$$[\text{KMnO}_4] = 0,0000638 + 0,0000507 \times (\text{V.E}) + 0,0000071 \times (\text{V.E})^2 - 0,000040466666666667 \times (\text{V.C}) + 0,0000096 \times (\text{V.C})^2$$

$$R^2=0,8984$$

Equação 1: Relação entre o parâmetro concentração de  $KMnO_4$  com volume de Solução Estoque e Solução Coagulante – Dados sem filtro.

Da mesma maneira para as análises filtradas tem-se que:

$$[KMnO_4] = 0,000036488888888889 + 0,0000216 \times (V.E) - 0,000004533333333333 \times (V.E)^2 - 0,000024333333333333 \times (V.C) + 0,000017066666666667 \times (V.C)^2$$

$$R^2=0,7684$$

Equação 2: Relação entre o parâmetro concentração de  $KMnO_4$  com volume de Solução Estoque e Solução Coagulante – Dados com filtro.

### 5.2.2 Comportamento do parâmetro turbidez

As Figuras 15 e 16 trazem o Diagrama de Pareto referentes a variável turbidez após o tratamento sem e com filtro, respectivamente, após o tratamento.

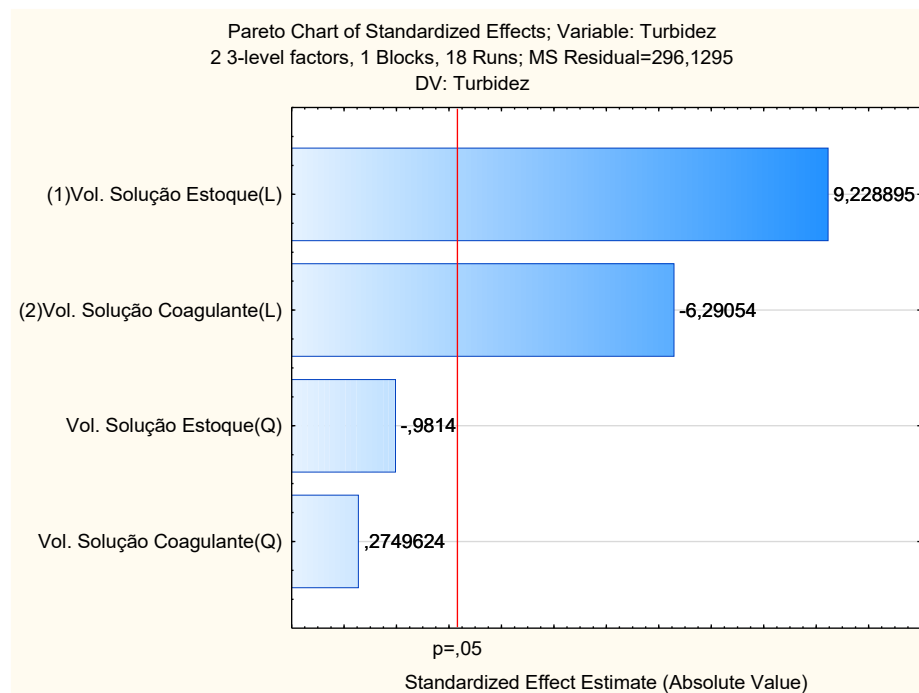


Figura 15:Gráfico do parâmetro turbidez – Dados sem filtro



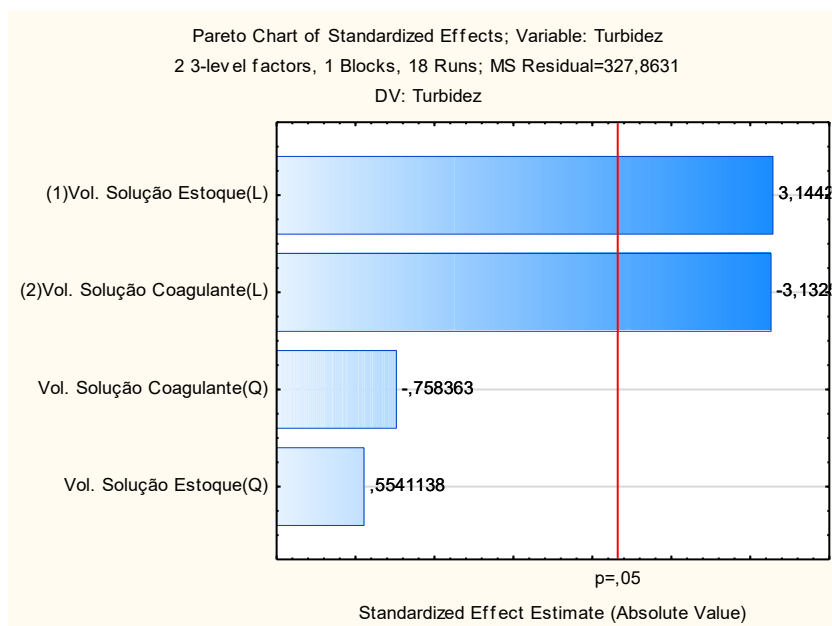


Figura 16: Gráfico de Pareto parâmetro turbidez – Dados com filtro

Na Figura 17 e 18 são mostrados os resultados da análise ANOVA que demonstra os parâmetros significativos foram a solução do coagulante e a dosagem da solução estoque.

ANOVA; Var.:Turbidez; R-sqr=,90633; Adj.:87751 (Dados Sem Filtro) 2 3-level factors, 1 Blocks, 18 Runs; MS Residual=296,1295 DV: Turbidez					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Vol. Solução Estoque(L)	25222,09	1	25222,09	85,17250	0,000000
Vol. Solução Estoque(Q)	285,22	1	285,22	0,96315	0,344308
(2)Vol. Solução Coagulante(L)	11718,13	1	11718,13	39,57095	0,000028
Vol. Solução Coagulante(Q)	22,39	1	22,39	0,07560	0,787667
Error	3849,68	13	296,13		
Total SS	41097,50	17			

Figura 17: Tabela ANOVA parâmetro turbidez – Dados sem filtro.

ANOVA; Var.:Turbidez; R-sqr=,61288; Adj.:49377 (Dados Com Filtro) 2 3-level factors, 1 Blocks, 18 Runs; MS Residual=327,8631 DV: Turbidez					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Vol. Solução Estoque(L)	3241,31	1	3241,311	9,886172	0,007757
Vol. Solução Estoque(Q)	100,67	1	100,668	0,307042	0,588906
(2)Vol. Solução Coagulante(L)	3217,36	1	3217,360	9,813121	0,007933
Vol. Solução Coagulante(Q)	188,56	1	188,559	0,575114	0,461762
Error	4262,22	13	327,863		
Total SS	11010,12	17			

Figura 18: Tabela ANOVA parâmetro turbidez – Dados com filtro.

As Figuras 19 e 20 trazem os gráficos de superfície das amostras não filtradas e filtradas, respectivamente, demonstram os valores de turbidez (eixo z) em função dos volumes de solução estoque (eixo x) e volume de solução coagulante (eixo y) escolhidos no planejamento experimental variando no intervalo de (-1,1).

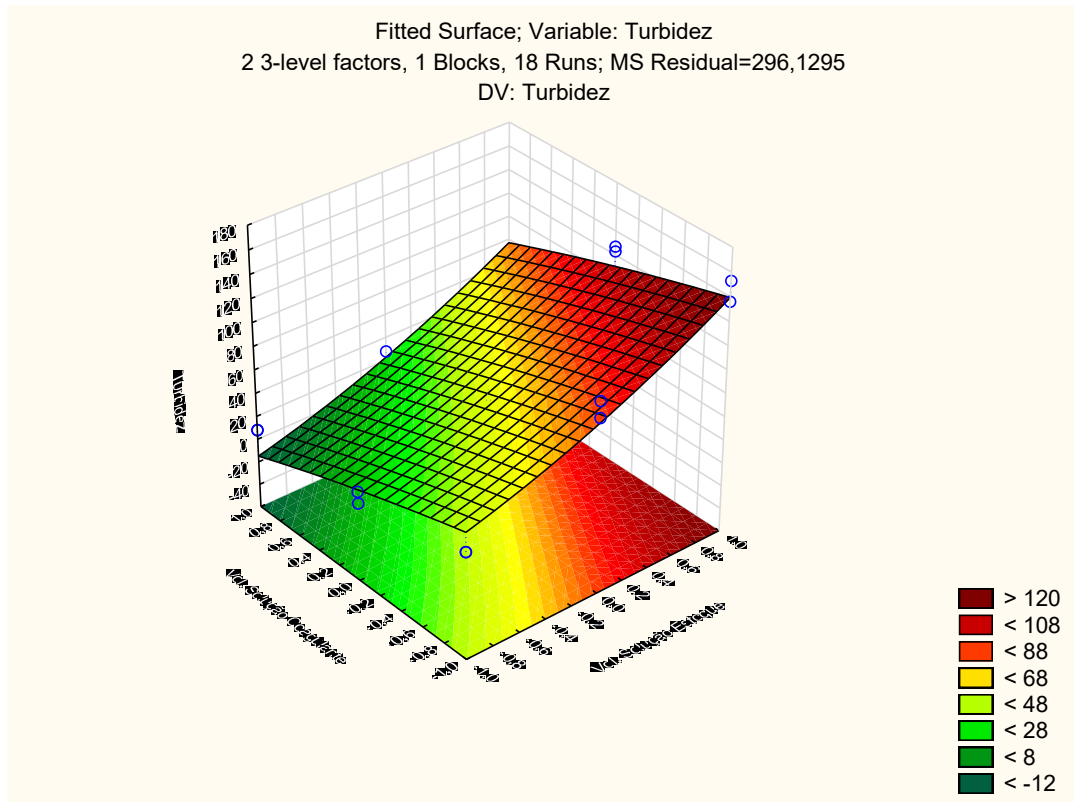


Figura 19: Gráfico do parâmetro turbidez – Dados sem filtro.

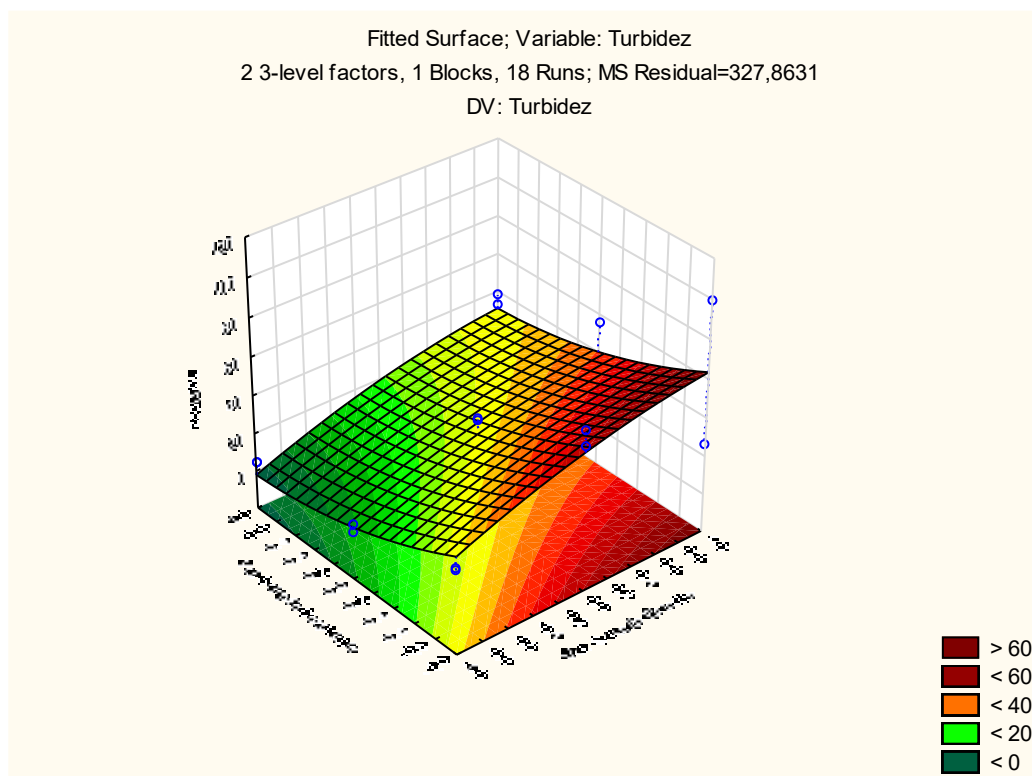


Figura 20: Gráfico do parâmetro turbidez – Dados com filtro.

Pode-se verificar no Figuras 19 e 20 que a superfície se encaminha para valores mais baixos quando utilizados menores volumes de solução estoque com maiores volumes de solução coagulante, resultando em menores valores no eixo z representando a turbidez ao final do processo de tratamento para ambas amostras quando filtradas ou não.

A partir dos gráficos o software Statistica disponibiliza as equações que representam o comportamento das variáveis em função do parâmetro observado. Considerando que o eixo x representa o volume de solução estoque (V.E), o eixo y representa o volume de solução coagulante (V.C) e o eixo z representa a turbidez (T), temos então para os ensaios realizados sem filtro a equação juntamente com seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ):

$$T = 56,137222222222 + 45,845833333333 \times (V.E) + 8,4441666666667 \times (V.E)^2 - 31,249166666667 \times (V.C) - 2,3658333333333 \times (V.C)^2$$

$$R^2 = 0,90633$$

Equação 3: Relação entre o parâmetro turbidez com volume de Solução Estoque e Solução Coagulante – Dados sem filtro.

Da mesma maneira para as análises filtradas tem-se que:

$$T = 28,8377777777778 + 16,435 \times (V.E) - 5,0166666666666 \times (V.E)^2 - 16,3741666666667 \times (V.C) + 6,8658333333333 \times (V.C)^2$$
$$R^2 = 0,61288$$

Equação 4: Relação entre o parâmetro concentração de  $KMnO_4$  com volume de Solução Estoque e Solução Coagulante – Dados com filtro.

### 5.2.3 Comportamento do parâmetro pH

As Figuras 15 e 16 trazem o Diagrama de Pareto referentes a variável pH após o tratamento sem e com filtro, respectivamente, após o tratamento.

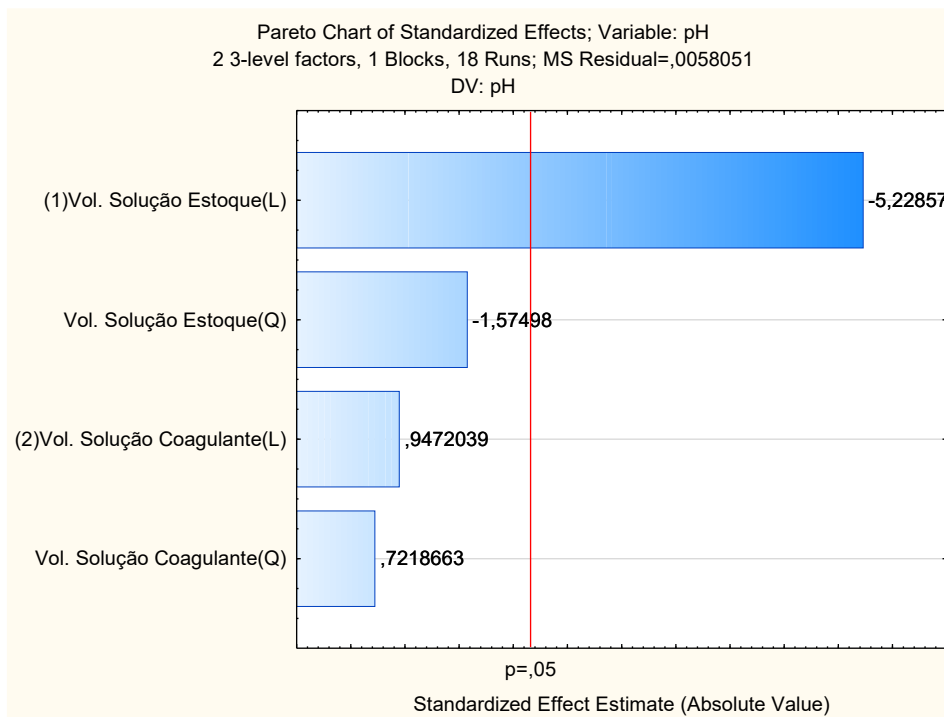


Figura 21: Gráfico do parâmetro pH – Dados sem filtro

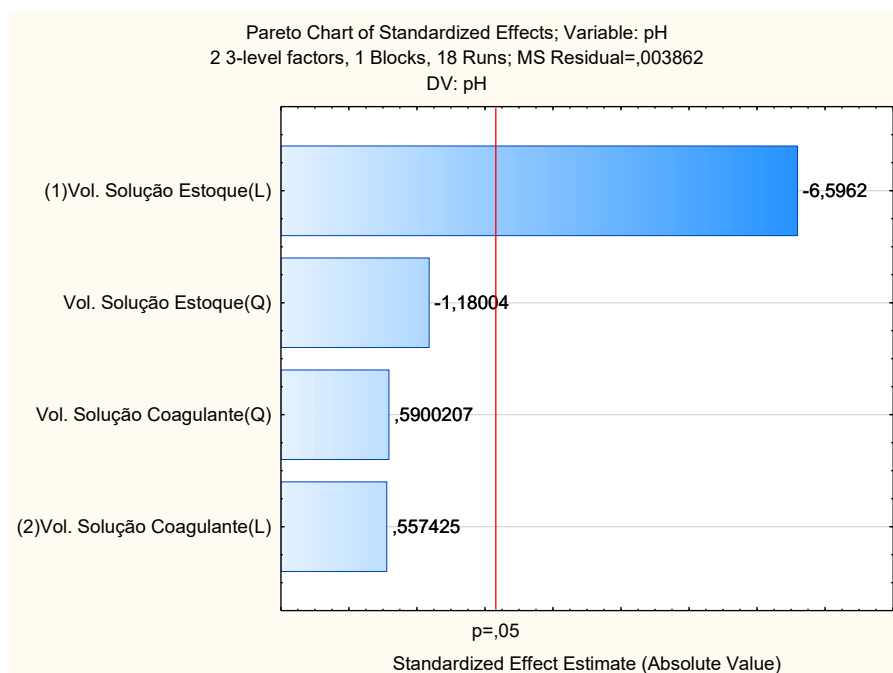


Figura 22: Gráfico do parâmetro pH – Dados com filtro

Na Figura 17 e 18 são mostrados os resultados da análise ANOVA que demonstra que o parâmetro significativo foi a dosagem da solução estoque.

ANOVA; Var.:pH; R-sqr=,70613; Adj:,6157 (Dados Sem Filtro) 2 3-level factors, 1 Blocks, 18 Runs; MS Residual=,0058051 DV: pH					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Vol. Solução Estoque(L)	0,158700	1	0,158700	27,33790	0,000163
Vol. Solução Estoque(Q)	0,014400	1	0,014400	2,48057	0,139275
(2)Vol. Solução Coagulante(L)	0,005208	1	0,005208	0,89720	0,360810
Vol. Solução Coagulante(Q)	0,003025	1	0,003025	0,52109	0,483160
Error	0,075467	13	0,005805		
Total SS	0,256800	17			

Figura 23: Tabela ANOVA parâmetro pH – Dados sem filtro

ANOVA; Var.:pH; R-sqr=,77801; Adj:,70971 (Dados Com Filtro) 2 3-level factors, 1 Blocks, 18 Runs; MS Residual=,003862 DV: pH					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1)Vol. Solução Estoque(L)	0,168033	1	0,168033	43,50979	0,000017
Vol. Solução Estoque(Q)	0,005378	1	0,005378	1,39250	0,259127
(2)Vol. Solução Coagulante(L)	0,001200	1	0,001200	0,31072	0,586708
Vol. Solução Coagulante(Q)	0,001344	1	0,001344	0,34812	0,565292
Error	0,050206	13	0,003862		
Total SS	0,226161	17			

Figura 24: Tabela ANOVA parâmetro pH – Dados com filtro

As Figuras 25 e 26 trazem os gráficos de superfície das amostras não filtradas e filtradas, respectivamente, demonstram o comportamento do pH (eixo z) em função dos volumes de solução estoque (eixo x) e volume de solução coagulante (eixo y) escolhidos no planejamento experimental variando no intervalo de (-1,1).

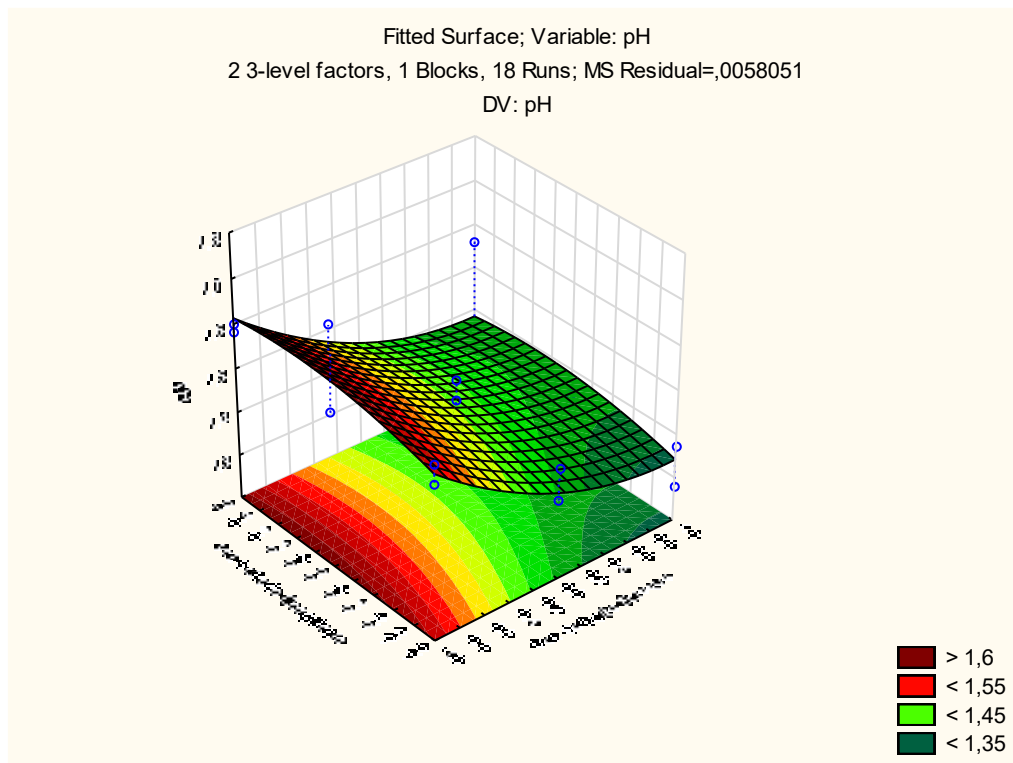


Figura 25: Gráfico de superfície do parâmetro pH – Dados sem filtro.

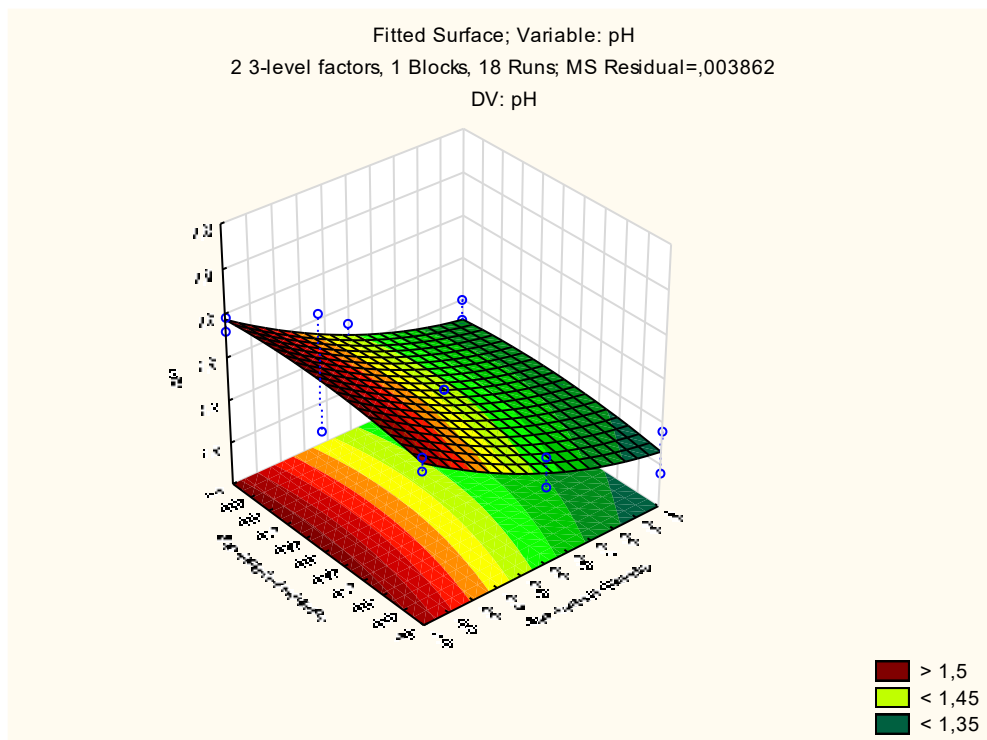


Figura 26: Gráfico de superfície do parâmetro pH – Dados com filtro.

Pode-se verificar nas Figuras 25 e 26 que quando utilizados maiores volumes de solução estoque o pH apresentou menores valores quase de maneira independente do volume utilização de solução coagulante, e assim vice-versa.

Ambos processos, com e sem filtro, apresentaram valores de pH ainda menores quando utilizado maior volume de solução estoque com menor volume de solução coagulante. Isso pode ser explicado pela maior concentração relativa de Permanganato de Potássio na solução.

A partir dos gráficos, o software Statistica disponibiliza as equações 5 e 6 que representam o comportamento das variáveis em função do parâmetro observado. Considerando que o eixo x representa o volume de solução estoque (V.E), o eixo y representa o volume de solução coagulante (V.C) e o eixo z representa o pH (pH) temos então para os ensaios realizados sem filtro a equação juntamente com seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ):

$$\text{pH} = 1,445 - 0,115 \times (\text{V.E}) + 0,06 \times (\text{V.E})^2 + 0,208333333333333 \times (\text{V.C}) - 0,70613 \times (\text{V.C})^2$$

$$R^2 = 0,70613$$

Equação 5: Relação entre o parâmetro pH com volume de Solução Estoque e Solução Coagulante – Dados sem filtro.

Da mesma maneira para as análises filtradas tem-se que:

$$\text{pH} = 1,4405555555556 - 0,11833333333333 \times 0,115(\text{V.E}) + 0,03666666666667 \times (\text{V.E})^2 + 0,01 \times (\text{V.C}) - 0,01833333333333 \times (\text{V.C})^2$$

$$R^2 = 0,77801$$

Equação 6: Relação entre o parâmetro pH com volume de Solução Estoque e Solução Coagulante – Dados com filtro.



## 6. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que o uso do coagulante orgânico extraído a partir de sementes de *Moringa Oleifera* foi eficiente para o tratamento de águas contaminadas com Permanganato de Potássio, se mostrando uma opção favorável ao tratamento do poluente emergente em questão. O ensaio 6, onde foi utilizado 24 mL de solução estoque e 64 mL de solução coagulante apresentou maior valor de remoção de  $\text{KMnO}_4$  chegando a 94,7% de eficiência.

As análises do software Statistica evidenciaram que a variável de maior peso no experimento foi a quantidade de solução estoque utilizada.

Comparando os resultados obtidos foi evidenciado a importância do processo de filtração no experimento, visto que os resultados obtidos ao final do tratamento demonstraram maior remoção de Permanganato de Potássio e maior eficiência consequentemente, ajudando também na remoção do parâmetro turbidez.

A variação de volumes utilizados de extrato coagulante de *Moringa Oleifera* e de Permanganato de Potássio não apontaram relações de mudança no fator pH, visto a solução estoque apresentava característica ácida inicialmente.

## REFERÊNCIAS

AQUINO, Sérgio Francisco de; BRANDT Emanuel Manfred Freire; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura**. Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. 2013, v. 18, n. 03 [Acessado 4 Agosto 2021], pp. 187-204. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000300002>>. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000300002>.

BONGIOVAN, Milene Carvalho; VALVERDE, Karina Cardoso; BERGAMASCO, Rosângela. UTILIZAÇÃO DO PROCESSO COMBINADO COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/UF COMO PROCESSO ALTERNATIVO AO TRATAMENTO CONVENCIONAL UTILIZANDO COMO COAGULANTE A Moringa oleifera Lam. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, 2013. Disponível em: <[https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum\\_ambiental/article/view/559](https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/559)>. Acesso em: 17 ago. 2021.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira**. 5. ed. Parte 1. Brasília: Anvisa, 2010.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira**. 5. ed. Parte 2. Brasília: Anvisa, 2010.

CARVALHO, W, A. **Anti-inflamatórios não esteroides, analgésicos, antipiréticos e drogas utilizadas no tratamento da gota**. In\_\_\_ SILVA, P. Farmacologia. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Ficha de Informação de Produto Químico: Ácido Salicílico**. Disponível em: <[https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha\\_completa1.asp?consulta=%C1CIDO%20SALIC%CDLICO](https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=%C1CIDO%20SALIC%CDLICO)>. Acesso em: 28/07/2021.

DE SOUSA, Murilo Neth et al. **Estudo de equivalência farmacêutica entre comprimidos de furosemida similares e genéricos**. Infarma-Ciências Farmacêuticas, v. 32, n. 1, p. 77-85, 2020.

DEY, Saptarshi; BANO, Farhat; MALIK, Anushree. Pharmaceuticals and personal care product (PPCP) contamination—a global discharge inventory. *In: Pharmaceuticals and Personal Care Products: Waste Management and Treatment Technology*. [s.l.]: Elsevier, 2019, p. 1–26. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128161890000019>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. Métodos e técnicas de tratamento de água. [S.l: s.n.], 2005.

EMERGENTE. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Porto: 7Graus, 2020. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/emergente/>>. Acesso em: 06/08/2021.

Ferreira, Bianca de Cássia, et al. *SEMENTE DE MORINGA OLEÍFERA COMO COAGULANTE NATURAL NO TRATAMENTO DA ÁGUA*. dezembro de 2020. [repositorio.unis.edu.br](http://repositorio.unis.edu.br), <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1435>.

FONSECA, Yara Vanessa Portuguese. **Estudo sobre a ocorrência de poluentes emergentes na água do rio meia ponte na cidade de Goiânia- Go**. 2013. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

Hughes SR, Kay P, Brown LE. **Global synthesis and critical evaluation of pharmaceutical data sets collected from river systems**. Environmental Science & Technology. 2013 Jan;47(2):661-677. DOI: 10.1021/es3030148. PMID: 23227929; PMCID: PMC3636779.

HOWE, K.J.; HAND, D.W.; CRITTENDEN, J.C.; TRUSSELL, R.R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Princípios de Tratamento de Água**. Cengage Learning Brasil, 2016. 9788522124084. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522124084/>. Acesso em: 17 Aug 2021.

JACOB, Amanda Cristina. **Aplicação de coagulantes orgânicos extraídos do cacto (Opuntia cochenillifera) e da Moringa oleifera no tratamento de água**. 2018. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

LOPES, José Carlos de Jesus. **Água, fator limitante ao desenvolvimento: a região de Maringá - Paraná**. 2001. Disponível em: <<http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3399>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

MADRONA, Grasielle Scaramal. **Extração/purificação do composto ativo da semente da Moringa oleifera Lam e sua utilização no tratamento de água para consumo humano**. 2010. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Engenharia Química em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.

MONACO, Paola Alfonsa Vieira Lo et al. **Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias.** Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

OLIVEIRA, Natalia Terezinha et al. **Tratamento de água com Moringa oleífera como coagulante/floculante natural.** Revista Científica Da Faculdade De Educação E Meio Ambiente, v. 9, n. 1, p. 373-382, 2018.

**RANGEL. M.S.A. Moringa oleifera; uma planta de uso múltiplo.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 1999. 41p. (Embrapa-CPATC. Circular técnica, 9).

SILVA, B. F. DA; JELIC, A; LÓPEZ-SERNA, R.; MOZETO, A. A ; PETROVIC, M; BARCELÓ, D. **Occurrence and distribution of pharmaceuticals in surface water, suspended solids and sediments of the Ebro river basin, Spain.** Chemosphere 85 (2011) 1331–1339.2011.

SODRÉ, Fernando Fabríz. Fontes Difusas de Poluição da Água: Características e métodos de controle. Agricultura, v. 1, n. 2o, p. 3o.

SILVEIRA, Bárbara Alduan. Tratamento de água de abastecimento com aplicação da Moringa oleífera líquida e em pó em diferentes concentrações de solução salina. 2017. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/9146>>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SOUZA, N. C. de. **Avaliação de micropoluentes emergentes em esgotos e águas superficiais.** 2011. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Saneamento Ambiental)-Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

Richter, C. A. *Tratamento de água.* Editora Blucher, 1991. 9788521217404. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521217404/>. Acesso em: 2021 ago. 17.

VALVERDE, K. C.; MORAES, L. C. K.; BONGIOVANI, F. P. C.; BERGAMASCO, R. **Coagulation diagram using the Moringa oleifera Lam and the aluminium sulfate, aiming the removal of color and turbidity of water.** Acta Scientiarum. Technology. v.5, n. 3, p.485-489, 2013

WILLIAMS, S. (Ed.). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 14th ed. Arlington: AOAC International, 1984.

## APÊNDICE I – RESULTADOS GERAIS

Ensaio	Planejamento Experimental		Volumes		Parâmetros							
	Volume Solução Estoque	Volume Solução Coagulante	Volume Solução Estoque (mL)	Volume Solução Coagulante (mL)	Concentração KMnO <sub>4</sub>				Turbidez		pH	
					Sem Filtro		Com Filtro		Sem Filtro (NTU)	Com Filtro (NTU)	Sem Filtro	Com Filtro
					Concentração (mol/L)	% Remoção	Concentração (mol/L)	% Remoção				
1	-1	-1	16	32	0,0000452	77,2	0,00004	79,8	31,4	25,1	1,59	1,58
2	-1	0	16	48	0,000024	87,9	0,0000172	91,3	17,1	8,82	1,55	1,48
3	-1	1	16	64	0,000022	88,9	0,000012	93,9	8,07	4,72	1,60	1,59
4	0	-1	24	32	0,0001204	58,3	0,0000768	73,4	89,1	55,1	1,38	1,38
5	0	0	24	48	0,0000612	78,8	0,0000504	82,5	48,4	33,4	1,50	1,45
6	0	1	24	64	0,00002	93,1	0,0000152	94,7	11,1	3,79	1,40	1,46
7	1	-1	32	32	0,000182	47,7	0,000084	70,9	136	25,8	1,28	1,28
8	1	0	32	48	0,0001176	66,2	0,000052	82,0	123	55,7	1,33	1,33
9	1	1	32	64	0,0000688	80,2	0,0000516	82,1	49,9	33,2	1,56	1,4
10	-1	-1	16	32	0,000036	81,8	0,0000336	83,0	31,4	23,6	1,55	1,55
11	-1	0	16	48	0,0000168	91,5	0,000014	92,9	7,04	5,04	1,74	1,74
12	-1	1	16	64	0,0000156	92,1	0,0000136	93,1	7,94	4,5	1,58	1,56
13	0	-1	24	32	0,0001236	57,1	0,0000796	72,4	103	62,8	1,45	1,45
14	0	0	24	48	0,0000656	77,3	0,0000468	83,8	48,06	33,6	1,45	1,45
15	0	1	24	64	0,0000304	89,5	0,0000184	93,6	27,7	11,8	1,38	1,38
16	1	-1	32	32	0,0002044	41,3	0,0001352	61,1	153	100	1,37	1,38
17	1	0	32	48	0,000126	63,8	0,0000204	94,1	127	16,4	1,34	1,34
18	1	1	32	64	0,0000692	80,1	0,0000464	86,7	64,2	37,9	1,35	1,35

