

**Universidade Federal do Mato Grosso do Sul**  
**Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (FACFAN)**  
**Curso de Engenharia de Alimentos**

Rafael Sandim Gonçalves

**Associação de *Moringa oleífera* e PAC no tratamento do efluente do processo  
de parboilização**

Campo Grande/2024

Rafael Sandim Gonçalves

Associação de *Moringa oleífera* e PAC no tratamento do efluente do processo de  
parboilização

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Curso de Engenharia de Alimentos da  
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul  
como parte das exigências para a obtenção do  
título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Prof (a) Orientador(a): Thaisa Carvalho Volpe Balbinoti

Campo Grande/2024

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>5</b>
<b>DESTAQUES.....</b>	<b>6</b>
<b>1- INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
<b>2 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
2.1 - Efluente de estudo.....	9
2.2 - Preparo dos coagulantes.....	9
2.3 - Testes experimentais.....	9
2.4 - Eficácia do tratamento.....	11
2.5 - Análise estatística.....	11
<b>3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>11</b>
3.1 - Caracterização do Efluente do Processo de Parboilização.....	11
3.2 - Associações MO:PAC no Tratamento do Efluente.....	15
3.2.1 - Remoção de turbidez.....	15
3.2.2 - Remoção de Matéria Orgânica.....	17
3.2.3 - pH.....	19
<b>4 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>21</b>
<b>5 - AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>21</b>
<b>6 - REFERÊNCIAS.....</b>	<b>22</b>

## **Associação de *Moringa oleífera* e PAC no tratamento do efluente do processo de parboilização**

Rafael Sandim Gonçalves<sup>1</sup>; Yasmin Ferreira Silva Cabral<sup>1</sup>; Jonas Raul Balbinoti<sup>2</sup>; Thaisa Carvalho Volpe Balbinoti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (FACFAN), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Av. Costa e Silva, s/n, Bairro Universitário, CEP 79070-900, Campo Grande, MS, Brazil. [rafael\\_sandim@ufms.br](mailto:rafael_sandim@ufms.br); [yasmin\\_cabral@ufms.br](mailto:yasmin_cabral@ufms.br); [thaisa.balbinoti@ufms.br](mailto:thaisa.balbinoti@ufms.br).

<sup>2</sup> Serviço Social da Indústria (SESI), Av. Afonso Pena, 1206, CEP 79002-070 Campo Grande, MS, Brazil. [jonas.balbinoti@sesims.com.br](mailto:jonas.balbinoti@sesims.com.br);

\*Autor correspondente: [thaisa.balbinoti@ufms.br](mailto:thaisa.balbinoti@ufms.br) (T.C.V. Balbinoti)

### **RESUMO-ARTE**



## RESUMO

Para redução dos impactos ambientais das atividades industriais, é fundamental adotar práticas sustentáveis, como a substituição de coagulantes sintéticos por coagulantes naturais no tratamento dos efluentes. Essa estratégia promove um tratamento mais biodegradável e menos tóxico, reduzindo a poluição ambiental, minimizando os riscos à saúde humana e à vida aquática. Neste estudo, o coagulante natural *Moringa oleífera* (MO) foi associado ao Policloreto de Alumínio (PAC) para o tratamento do efluente do processo de parboilização do arroz. A associação MO:PAC não trouxe vantagens significativas e, neste cenário, optar por um tratamento 100% natural é a alternativa mais sustentável e simplificada. O tratamento com 100% MO não alterou o pH do efluente e obteve eficiência na remoção de turbidez e matéria orgânica, com diferença percentual de 7% e 28,8% em relação ao 100% PAC, respectivamente. Este artigo pode auxiliar pesquisadores e profissionais da indústria, em especial de alimentos, a realizarem e proporem tratamentos de águas residuais de maneira mais sustentável.

## PALAVRAS-CHAVES

Coagulante Natural; Policloreto de Alumínio; Arroz Parboilizado; Turbidez; Tratamento de Efluente.

**DESTAQUES**

- Ao eliminar as etapas de extração e purificação das proteínas, MO surge como uma alternativa prática, acessível e eficiente para o tratamento do efluente analisado;
- 100% MO promoveu um tratamento que atende às exigências ambientais com menor impacto ambiental e maior segurança;
- 100% MO não demanda um controle adicional do pH antes do lançamento em corpos hídricos;
- O coagulante associado MO:PAC não é vantajoso para o tratamento do efluente da indústria de parboilização

## 1- INTRODUÇÃO

Os efluentes gerados pelo processo de parboilização apresentam elevados níveis de poluentes que, se não tratados adequadamente, podem causar danos ambientais e à saúde humana (Mukherjee et al., 2016). Tradicionalmente, o tratamento desses efluentes envolve o uso de coagulantes sintéticos, como o policloreto de alumínio. No entanto, o uso excessivo desses coagulantes pode resultar em problemas ambientais e de saúde, como a geração de grandes volumes de lodo não biodegradável e a possível associação ao desenvolvimento de doenças neurodegenerativas (Valverde et al., 2018; Chagas et al., 2022).

Neste contexto, a busca por alternativas mais sustentáveis tem impulsionado o uso de coagulantes naturais, como a *Moringa oleífera* (MO). A MO se destaca por suas propriedades coagulantes, devido à presença de proteínas catiônicas, que neutralizam as cargas das partículas suspensas, facilitando a agregação e sedimentação (Yamaguchi et al., 2021; Balbinoti et al., 2024). Rifi et al. (2023) demonstraram que a MO foi eficaz na redução de polifenóis, turbidez, sólidos suspensos, demanda química de oxigênio e nitratos em efluentes de azeite. Nzeyimana et al. (2024) confirmaram a eficiência deste coagulante natural para o tratamento de diferentes águas residuais, com significativa redução da turbidez (média de 92%). Elemile et al. (2021) e Junho et al. (2021) em efluentes de laticínios reforçaram o potencial da MO ao observarem, respectivamente, 86,42% de remoção de sólidos suspensos totais e 95% de remoção de turbidez.

Embora os resultados sejam promissores, a aplicação industrial de MO como coagulante natural ainda enfrenta desafios, incluindo incertezas e preconceitos (Balbinoti et al., 2024). Uma abordagem promissora para superar esses desafios e melhorar a aceitação dos coagulantes naturais na indústria é a combinação de coagulantes sintéticos com naturais. Esta estratégia não só potencializa a eficiência do tratamento de efluentes,

mas também promove um processo mais verde e econômico ao reduzir a quantidade de coagulantes sintéticos utilizados (David et al., 2016; Balbinoti et al., 2023).

Esta associação equilibra a alta eficiência dos coagulantes sintéticos com as vantagens ambientais proporcionadas pelos coagulantes naturais (Balbinoti et al., 2024). Valverde et al. (2018) constataram que a combinação de *Moringa oleífera* com Policloreto de Alumínio (MO:PAC) nas proporções de 80:20 ou 60:40 melhoraram os parâmetros de qualidade, como cor, turbidez e  $UV_{254nm}$ , permitindo a produção de água com padrões adequados de potabilidade. Balbinoti et al. (2024) observaram que a associação de MO:PAC na proporção 70:30 apresentou resultados superiores e estatisticamente equivalentes quando comparado aos tratamentos realizados com 100% MO e 100% PAC, respectivamente. Tais estudos evidenciam que a associação com MO é crucial para a redução da quantidade necessária de coagulante sintético, como o PAC. Os benefícios em termos de saúde pública e ambiental tornam essa estratégia uma solução competitiva em países em desenvolvimento, devido ao baixo custo e simplicidade, e em países desenvolvidos, pela promoção de práticas sustentáveis e redução do impacto ambiental, mantendo a eficiência no tratamento (Gandiwa et al. 2020).

Apesar de seu enorme potencial, a combinação de coagulantes naturais e sintéticos no tratamento de efluentes de indústrias de alimentos ainda é uma área pouco explorada. Diante dessa lacuna e da crescente necessidade de práticas mais sustentáveis no setor, este estudo propõe investigar a eficácia da associação da MO com o PAC no tratamento do efluente gerado pelo processo de parboilização. Essa abordagem representa um avanço significativo para a indústria de alimentos, oferecendo uma solução que alia eficiência no tratamento dos efluentes a um menor impacto ambiental. Além de reduzir o uso de coagulantes sintéticos, essa prática promove uma gestão mais responsável e segura, com benefícios tanto para a preservação do meio ambiente quanto para a saúde pública.

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 - Efluente de estudo

O efluente foi produzido em laboratório, utilizando as condições operacionais propostas por Balbinoti et al. (2017). Foi utilizado proporção mássica de 1:4 ( $m v^{-1}$ ) de arroz em água destilada. A operação foi conduzida em banho termostático à pressão atmosférica, sem agitação do meio, em temperatura de 75 °C por 4 horas. Ao final, o efluente foi filtrado e incubado a 10 °C até o momento das análises.

O efluente produzido foi caracterizado por meio dos seguintes parâmetros de qualidade: cor; turbidez; pH; alumínio dissolvido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; SST – sólidos suspensos totais; ST – sólidos totais; SS – sólidos sedimentáveis; SDT - sólidos dissolvidos totais; P – fósforo total; e N – Nitrogênio Amoniacal. As análises foram realizadas em triplicata, seguindo as Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).

### 2.2 - Preparo dos coagulantes

As sementes de *Moringa oleífera* foram secas, descascadas, trituradas e o pó obtido peneirado à 80 *mesh*. A solução de policloreto de alumínio (PAC) foi fornecida pela empresa Águas Guariroba da cidade de Campo Grande, Mato Grosso do Sul, com as seguintes características: densidade de 1,34 g cm<sup>-3</sup>; concentração de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 16,02%; e basicidade de 40,04%.

### 2.3 - Testes experimentais

Os ensaios experimentais foram estabelecidos com o objetivo de avaliar a eficiência do tratamento utilizando Moringa (MO) e sua associação ao Policloreto de Alumínio (PAC).

Baseando-se no estudo de Balbinoti et al. (2024), foram realizados testes preliminares com diferentes dosagens de MO (500, 1000, 2500 e 5000 mg L<sup>-1</sup>), o que resultou na identificação da dosagem ótima de 2500 mg L<sup>-1</sup> para o tratamento do efluente proposto. O parâmetro de definição para escolha da melhor dosagem foi a turbidez.

Para tentar melhorar o desempenho do tratamento, a MO foi associada ao PAC (Tabela 1). As proporções percentuais permitiram avaliar a eficiência do tratamento com a dependência do coagulante sintético. Os resultados foram comparados com o tratamento controle conduzido com 100% PAC (0,5 mL L<sup>-1</sup>).

Tabela 1 – Condições de tratamento

Proporção percentual (%)		MO:PAC
MO	PAC	dosagem
100	0	2500:0
90	10	2250:0,05
80	20	2000:0,1
70	30	1750:0,15
60	40	1500:0,2
50	50	1250:0,25
0	100	0:0,5

MO = Moringa oleífera (mg L<sup>-1</sup>); PAC = policloreto de alumínio (mL L<sup>-1</sup>)

Os experimentos foram realizados no equipamento JarTest (Athon/JTAT3J1LDIG/Brasil), constituído por três jarros. Os parâmetros operacionais adotados foram estabelecidos com base no estudo de Mateus et al. (2017): gradiente de mistura rápida de 300 rpm por 2 min, seguido de mistura lenta com 100 rpm por 10 min e sedimentação de 60 min.

## 2.4 - Eficácia do tratamento

A eficiência das proporções percentuais de MO:PAC para o tratamento do efluente foi avaliada pelos parâmetros turbidez, pH e Absorbância ao UV<sub>254nm</sub>. Todas as análises seguiram as metodologias propostas por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).

Após a definição do melhor coagulante para o tratamento do efluente, o mesmo foi caracterizado por demais parâmetros de qualidade, como alumínio dissolvido; DQO – demanda química de oxigênio; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; SST – sólidos suspensos totais; ST – sólidos totais; SS – sólidos sedimentáveis; SDT - sólidos dissolvidos totais; P – fósforo total; e N – Nitrogênio Amoniacal. As análises foram realizadas em triplicata, seguindo as Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2017).

## 2.5 - Análise estatística

O teste da análise de variância (ANOVA), com 95% de confiança, foi aplicado para avaliar as diferenças significativas entre os tratamentos. Por fim, foi realizado o teste de Tukey, de modo a comparar as médias e verificar se os coagulantes produzidos foram significativamente diferentes entre si.

# 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 3.1 - Caracterização do Efluente do Processo de Parboilização

A caracterização do efluente gerado pelo processo de parboilização (Figura 1 e Tabela 2) é de extrema importância para compreender os desafios específicos do tratamento e para avaliar a eficácia da solução proposta.



Figura 1 – Efluente bruto do processo de Parboilização, sem e com sedimentação de 60 min, respectivamente.

Tabela 2 – Caracterização físico-química e microbiológica do efluente bruto

Parâmetro	Resultado	Unidade	Parâmetro	Resultado	Unidade
Cor	179,20	Pt/Co	Sólidos Sedimentáveis	1,2	mL/L
Turbidez	381,00	NTU	Sólidos Dissolvidos Totais	734,0	mg/L
pH	5,46	-	Fósforo total	32,320	mg/L
Alumínio Dissolvido	0,26	mg/L	Nitrogênio Amoniacal	3,3	mg/L
DQO	692,02	mg/L O <sub>2</sub>	Sólidos Suspensos Totais	534,0	mg/L
DBO	313,0	mg/L O <sub>2</sub>	Sólidos Totais	1.252,0	mg/L

A presença de compostos orgânicos dissolvidos no meio conferiu ao efluente produzido neste estudo uma coloração abaixo do observado por Mukherjee et al. (2016) e PulickalMannath et al. (2021), com 533,21 Pt/Co e 960 Pt/Co, respectivamente. A diferença entre os efluentes pode estar relacionada a variações nos parâmetros de processo, como tempo e temperatura, bem como a proporção entre arroz: água, e o nível inicial de sujidade do arroz. Esses fatores podem influenciar diretamente a quantidade de compostos liberados no efluente.

Por sua vez, a turbidez do efluente gerado foi maior em relação ao valor registrado por Berwanger et al. (2010) e Adams et al. (2014) com 130 NTU e 88 NTU, respectivamente. A turbidez elevada observada neste estudo indica alta concentração de partículas em suspensão, o que evidencia a necessidade de utilizar um coagulante eficiente.

O pH do efluente foi considerado ligeiramente ácido, o que é relevante, pois o pH influencia diretamente a eficácia dos processos de precipitação química. O pH encontrado neste estudo foi similar aos valores observados por Faria et al. (2005) e Queiroz *et al.* (1997), que encontraram valores médio de 5,80 e 4,91, respectivamente.

O alumínio dissolvido apresentou-se em baixa concentração (Tabela 1), resultado alinhado com Gerber *et al.* (2018), que encontraram valores menores que 0,1 mg/L. Apesar de ser considerado baixo, será preciso um monitoramento após o tratamento, tendo em vista o uso de um coagulante a base de alumínio. Essa preocupação se deve ao potencial impacto deste coagulante, especialmente nos ecossistemas aquáticos e na saúde da população.

A DQO encontrada neste estudo é comparável ao estudo de Sayanthan et al. (2018), que reportaram valores de 630 mg/L, indicando uma quantidade significativa de matéria orgânica oxidável, o que sugere um elevado potencial poluente para este efluente e, portanto, a necessidade de tratamento adequado antes do descarte em corpos hídricos

(Faria et al., 2005; Gerber *et al.*, 2018). Esse dado foi complementado pela DBO, que apresentou um valor próximo ao reportado por Mukherjee et al. (2016) de 305 mg/L. Essa concentração revela que a matéria orgânica presente no efluente requer uma considerável quantidade de oxigênio para sua degradação biológica (Mukherjee et al., 2016). A relação entre DQO e DBO neste estudo indica a presença de compostos orgânicos de difícil degradação biológica, evidenciando a necessidade de um tratamento eficiente, que complemente o tratamento biológico.

Os sólidos suspensos totais (534,0 mg/L) corresponderam aos valores encontrados por Sayanthan et al. (2018) de 530 mg/L, apontando para uma alta carga de partículas sólidas em suspensão que podem prejudicar os corpos receptores em caso de não tratamento. A concentração de sólidos totais foi similar ao estudo de Asati (2013), que obtiveram 1.100 mg/L, reforçando a necessidade de um tratamento eficiente para redução da carga total. Além disso, a quantidade de sólidos sedimentáveis determinada (Tabela 1) sugere que, se não tratado adequadamente este efluente, tais sólidos podem se depositar no fundo dos corpos d'água, contribuindo para o assoreamento e prejudicando a fauna e flora aquática (Sayanthan et al., 2018). Por sua vez, os sólidos dissolvidos totais atingiram 734,0 mg/L, o que reflete uma alta quantidade de substâncias dissolvidas na água, inviabilizando o reuso industrial sem tratamento preliminar (Asati, 2013; Gerber et al., 2018).

Um ponto crítico identificado foi a concentração de fósforo total (Tabela 1), que teve um valor comparável ao estudo de Queiroz et al. (1997), com média de 52,82 mg/L, mas abaixo de Faria et al. (2006), que exploraram um efluente com 100 mg/L. O fósforo, em excesso, pode provocar eutrofização dos corpos d'água, causando a proliferação descontrolada de algas e a conseqüente degradação da qualidade da água (Karasa et al., 2024). Portanto, o efluente do arroz parboilizado necessita de um tratamento capaz de mitigar esse impacto ambiental. Por fim, o nitrogênio amoniacal determinado neste estudo

(Tabela 1) foi abaixo do reportado por Queiroz et al. (1997) e Faria et al. (2006) com valores médios de 18,36 mg/L e 35 mg/L, respectivamente. Se não tratado, tais concentrações podem aumentar a toxicidade do efluente e contribuir para a eutrofização (Balbinoti et al., 2023).

Dessa forma, observa-se que o efluente do processo de parboilização do arroz possui características que demandam, antes do descarte em corpos hídricos, de um tratamento adequado para minimizar seu impacto ambiental. Portanto, utilizar um coagulante eficiente, especialmente de base natural, surge como uma solução promissora para o tratamento, tornando-o mais sustentável e alinhado com práticas ambientais mais verdes.

### 3.2 - Associações MO:PAC no Tratamento do Efluente

#### 3.2.1 - Remoção de turbidez

O tratamento controle com 100% PAC obteve uma redução de turbidez de 98,37%, Figura 2. Em comparação, ao utilizar 100% MO no tratamento do efluente, foi alcançada uma redução de 92,22%, representando uma diferença percentual de menos de 7% (Figura 3). Esses resultados demonstram a eficácia da moringa em remover partículas suspensas do efluente, dispensando a necessidade das etapas de extração e purificação das proteínas, o que simplifica seu uso e o torna uma alternativa prática e acessível. Mesmo após extraírem e purificarem a proteína do coagulante natural, Jagaba et al. (2020) e Triques et al. (2020) alcançaram reduções de turbidez semelhantes às deste estudo, com 88,3% e 92%, respectivamente. A comparação desses resultados sugere que o tratamento do efluente do processo de parboilização requer apenas um preparo simples da MO (remoção das cascas, secagem e trituração) para garantir uma remoção de turbidez superior a 91%.

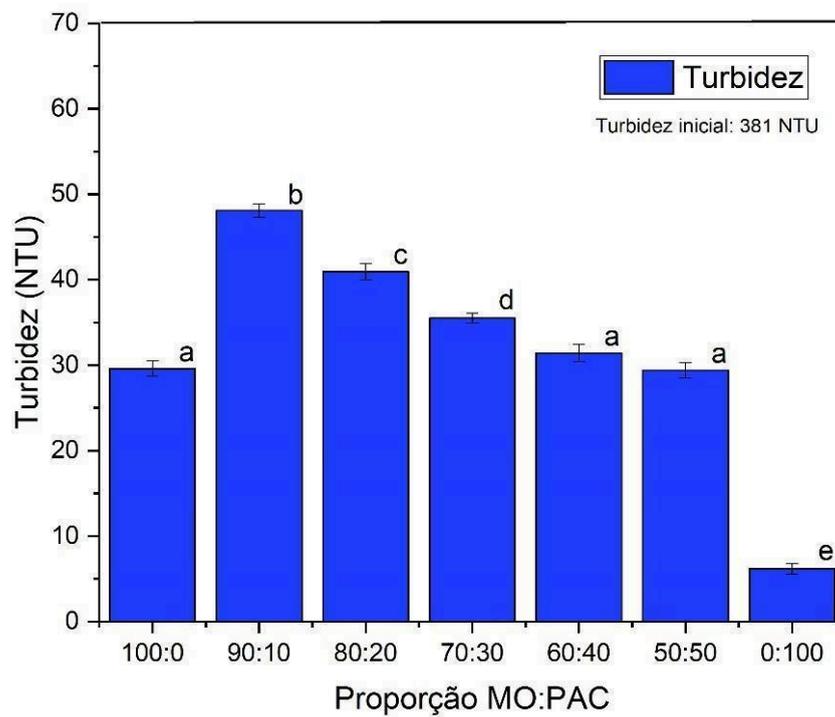


Figura 2 – Remoção de Turbidez nas associações MO:PAC

Legenda: As letras indicam grupos de médias estatisticamente diferentes ou iguais de acordo com o teste de Tukey.



Figura 3 - Efluente tratado com 100% PAC e 100% MO, respectivamente.

Os dados reforçam as vantagens do uso da moringa como coagulante natural, destacando sua biodegradabilidade e menor impacto ambiental em relação aos coagulantes convencionais. Esses fatores tornam a moringa uma alternativa atraente para empresas que buscam e priorizam práticas sustentáveis, de baixo custo e com menor geração de resíduos químicos. No entanto, ao associar MO:PAC com o objetivo de maximizar a remoção de turbidez do coagulante natural e minimizar os impactos ambientais do coagulante sintético, os resultados indicaram que tais combinações não foram eficazes para o tratamento do efluente estudado (Figura 2). Esse resultado diverge do observado por Valverde et al. (2016), Sabóia et al. (2020) e Balbinoti et al. (2024), que recomendaram MO:PAC nas proporções 70:30, 77:23 e 70:30, respectivamente.

A diferença pode ser atribuída ao fato de que, neste estudo, a moringa foi utilizada em sua forma integral, sem a extração das proteínas, o que parece ter limitado seu potencial coagulante quando associada ao PAC. Na associação, o desempenho da moringa foi reduzido, requerendo concentrações mais elevadas de PAC (40 a 50%) para alcançar níveis de eficiência semelhantes ao obtido para o 100% MO (Figura 2). Isso indica que o uso da moringa como coagulante natural, embora promissor, pode apresentar limitações nas associações com os coagulantes sintéticos, dependendo das características específicas do efluente e da forma de preparo do coagulante

### 3.2.2 - Remoção de Matéria Orgânica

A caracterização da matéria orgânica foi avaliada por meio da absorvância ao  $UV_{254nm}$ , um método eficaz para indicar a presença de compostos orgânicos, especialmente aqueles com estruturas aromáticas, como ácidos húmicos e fúlvicos (Araújo et al., 2022). A absorvância do efluente bruto foi de 1,75, o que indica matéria orgânica em quantidades significativas (Balbinoti et al., 2024).

Os valores de absorvância observados após os tratamentos refletem uma melhora na qualidade do efluente conforme a proporção de MO diminui em relação ao PAC (Figura 4). O tratamento com 100% MO permitiu uma redução de 66,06% na absorvância, enquanto o tratamento com 100% PAC alcançou uma redução de 94,86% - diferença de desempenho de 28,80% em favor do PAC. Tendência similar foi observada em favor da presença do PAC nos estudos de Valverde et al. (2016), Sabóia et al. (2020) e Balbinoti et al. (2024). Esse comportamento sugere que o PAC, em relação a MO, possui uma capacidade de interação maior com os compostos aromáticos, promovendo uma adsorção mais eficaz da matéria orgânica.

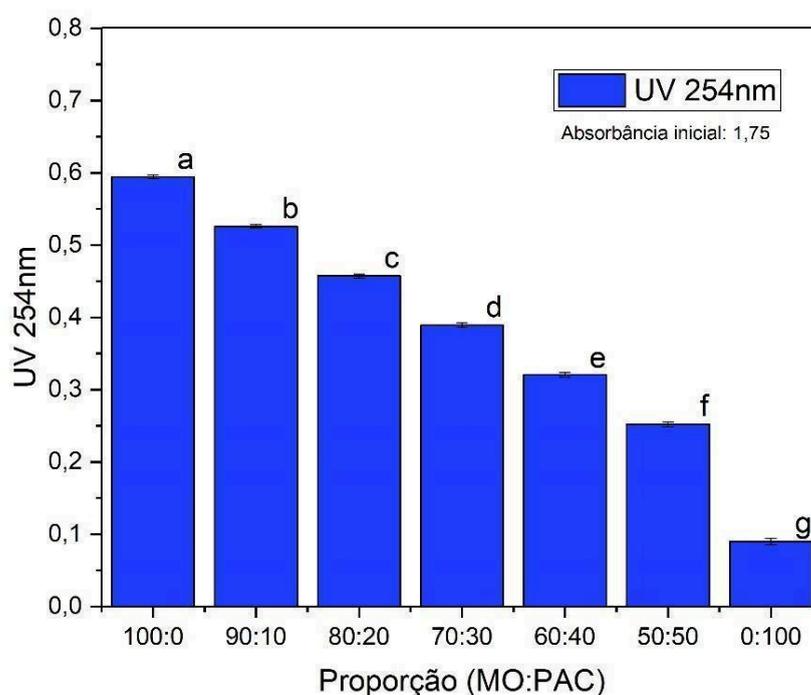


Figura 4 – Remoção de compostos orgânicos nas associações MO:PAC

Legenda: as letras indicam grupos de médias estatisticamente diferentes ou iguais de acordo com o teste de Tukey.

Embora o desempenho da moringa (MO) seja inferior ao do PAC na remoção de matéria orgânica, esse resultado deve ser analisado em contexto. No tratamento de água para consumo humano, onde é exigida uma remoção quase total de compostos orgânicos para garantir a potabilidade, o PAC é preferível devido à sua maior eficiência. No entanto, para tratamento de efluentes, a remoção de matéria orgânica não requer um grau tão elevado de eficiência, pois a legislação vigente no Brasil, estabelecida pela Resolução CONAMA nº 430/2011, não especifica um limite máximo para a absorvância a 254 nm como critério para lançamento de efluentes.

Portanto, o valor final obtido com 100% MO pode ser considerado aceitável para o descarte deste efluente. Teixeira et al. (2017) e Balbinoti et al. (2024) concluíram da mesma forma quando realizaram o tratamento isolado com a MO. Tais pesquisadores encorajam o tratamento com MO, uma vez que essa escolha se justifica pelo fato de a moringa tornar o processo mais sustentável, uma vez que se trata de um coagulante natural, biodegradável e de baixa toxicidade. Além disso, a MO é uma opção economicamente viável, especialmente em regiões onde os recursos para a compra de produtos químicos industriais como o PAC são limitados, e suas sementes podem ser cultivadas localmente, reduzindo custos e a dependência de insumos externos.

### 3.2.3 - pH

Na análise da variação do pH em função das diferentes proporções de MO:PAC, foi observado uma tendência com o aumento de PAC (Figura 5). Quando o tratamento foi realizado com 100% MO, o pH do efluente não apresentou diferença em relação ao pH inicial do efluente, indicando que, isoladamente, a moringa não altera significativamente a acidez ou alcalinidade do meio. À medida que aumentou a proporção de PAC, foi observado uma redução do pH, se acentuando em 60:40 e 50:50. Essa diminuição foi particularmente significativa quando o tratamento foi realizado com 100% PAC, onde

houve redução de 26,13% no pH do efluente. Esse resultado indica que o PAC possui um efeito acidificante, reduzindo o pH do efluente a níveis que inviabilizam seu lançamento no corpo receptor (pH de 4,03).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 exige que o pH dos efluentes a serem lançados esteja entre 5 e 9. Assim, embora o PAC seja eficaz para a redução de determinados contaminantes, seu uso isolado pode demandar um controle adicional do pH antes do descarte, como a adição de neutralizantes. Por outro lado, a moringa não altera o pH, o que torna este coagulante uma alternativa mais verde e barata.

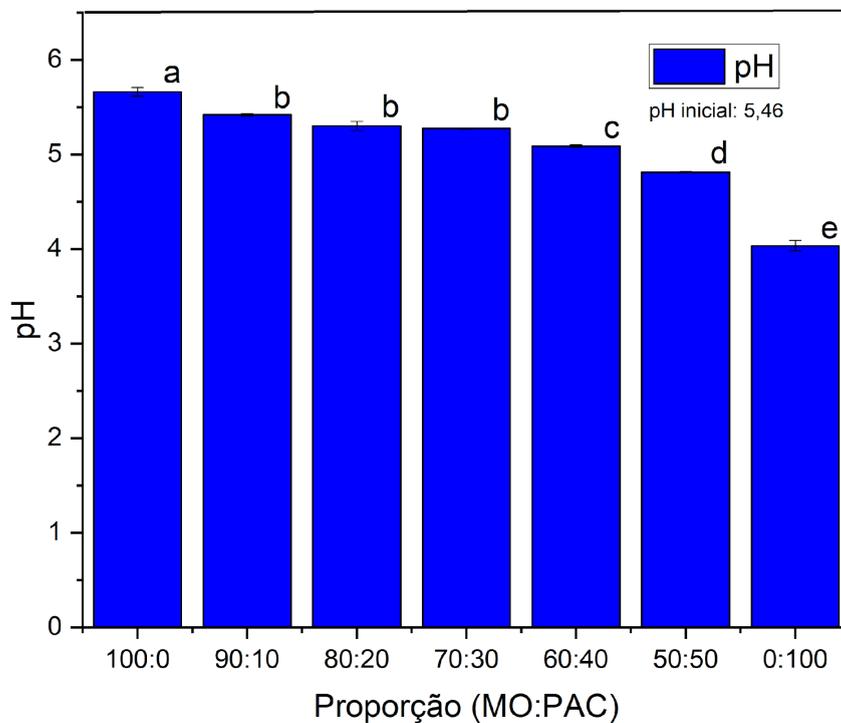


Figura 5 – pH do efluente tratado nas associações MO:PAC

Legenda: As letras indicam grupos de médias estatisticamente diferentes ou iguais de acordo com o teste de Tukey.

#### **4 - CONCLUSÕES**

A MO no tratamento do efluente do processo de parboilização se destacou como uma solução promissora e sustentável, alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 12 (consumo e produção responsáveis) e 14 (vida na água). Em substituição aos coagulantes sintéticos, a MO oferece um tratamento acessível, com baixo impacto ambiental e maior segurança. Os resultados deste estudo comprovam que um tratamento 100% natural, dispensando etapas de extração e purificação da MO, torna essa abordagem mais prática e simplificada. Por outro lado, a associação MO:PAC se mostrou pouco vantajosa, indicando que a combinação destes coagulantes não oferece benefícios significativos para o tratamento. Esta pesquisa reforça o potencial da MO (100%) como uma alternativa verde para as indústrias que buscam minimizar os desafios ambientais em seus sistemas de tratamento de efluentes.

#### **5 - AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Serviço Social da Indústria (SESI) de Mato Grosso do Sul pelo apoio técnico. Esse agradecimento também se estende à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, especialmente aos Laboratórios da Unidade de Tecnologia de Alimentos (UNITAL) e Unidade de Ciência de Alimentos (UNICAL), pela infraestrutura disponibilizada.

Agradeço à professora doutora Thaisa Carvalho Volpe Balbinoti pelo grande apoio na realização desse projeto de pesquisa, assim como todo o apoio ao longo da minha jornada na graduação.

Agradeço a banca avaliadora composta pelos docentes, professor doutor João Renato de Jesus Junqueira e professora doutora Luciana Miyagusku, pelo apoio e pela correção do trabalho apresentado, e ao longo da graduação.

Agradeço a equipe técnica composta pelos técnicos Márcio Olívio Figueiredo Vargas, Mariana Rezende Fragoso, Jefferson Oliveira, Mirelly Santos e Carolina Turatti pelo apoio durante toda minha formação e para a realização do presente trabalho.

Agradeço ao meu amigo Jonas Raul Balbinoti pelo o indispensável apoio durante a realização desse trabalho e ao longo dessa jornada ao longo do ano.

Por fim agradeço a minha família e amigos pelo apoio a minha formação e durante os percalços durante minha graduação, estendo a quaisquer colegas e professores que estiveram presentes em momentos ao longo da minha jornada acadêmica.

## **6 - REFERÊNCIAS**

Adams, M., et al. (2014). Application of rice hull ash for turbidity removal from water.

Physics and Chemistry of the Earth, 72-75. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2014.09.010>

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.). American Public Health Association.

Asati, S. R. (2013). Treatment of wastewater from parboiled rice mill unit by coagulation/flocculation. International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research, 2(5). [Google Scholar](#)

Balbinoti, J.R., dos Santos Junior, R.E., de Sousa, L.B.F., de Jesus Bassetti, F., Balbinoti, T.C.V., Jorge, R.M.M., de Matos Jorge, L.M. (2023). Plant-based coagulants for food industry wastewater treatment. Journal of Water Process Engineering, 52, 103525. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103525>

Balbinoti, J.R., Jorge, R.M.M., dos Santos Junior, R.E., Balbinoti, T.C.V., Coral, L.A.A., de Jesus Bassetti, F. (2024). Treatment of low-turbidity water by coagulation combining

- Moringa oleifera Lam and polyaluminium chloride (PAC). Journal of Environmental Chemical Engineering, 12, 111624. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111624>
- Balbinoti, T.C.V., de Matos Jorge, L.M., Matos Jorge, R.M. (2017). Modeling the hydration step of the rice (*Oryza sativa*) parboiling process. Journal of Food Engineering, 216, 81-89. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.020>
- Berwanger Filho, B.J.A.; Wilberg, K.Q.; Prochnow, T.R. (2010). Use of rice shell ash as sorbent material for removal of organic matter and turbidity of effluent from the rice parboiling process. Periódico Tchê Química, v.7, n.14, p. 35 - 45, 2010. <https://doi.org/10.52571/PTQ.v7.n14.2010.36>.
- Chagas, G.H., Faria, M.L. (2022). Utilização do polímero natural do quiabo (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) no tratamento de água de abastecimento humano. Studies in Education Sciences, 3(1), 137–148. <https://doi.org/10.54019/sesv3n1-009>
- David, C.; Narlawar, R.; Arivazhagan, M. Performance Evaluation of Moringa oleifera Seed Extract (MOSE) in Conjunction with Chemical Coagulants for Treating Distillery Spent Wash. Indian Chemical Engineer, v. 58, n. 3, p. 189-200, 2016. <https://doi.org/10.1080/00194506.2015.1006147>
- Elemile, O. O., Eze, N. E., & Ogedengbe, K. (2021). Effectiveness of Moringa Oleifera and blends of both alum and Moringa as coagulant in the treatment of dairy wastewater. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1036, 012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1036/1/012007>
- Faria, O.L.V., Koetz, P.R., Santos, M.S., Nunes, W.A. (2006). Remoção de fósforo de efluentes da parboilização de arroz por absorção biológica estimulada em reator em batelada sequencial (RBS). Ciência e Tecnologia de Alimentos, 26(2), 200-206. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200013>
- Gandiwa, E., et al. (2020). Optimisation of using a blend of plant-based natural and synthetic coagulants for water treatment: (Moringa Oleifera-Cactus Opuntia-alum

blend). South African Journal of Chemical Engineering, 34, 158–164.  
<https://doi.org/10.1016/j.sajce.2020.07.005>

Gerber, M. D., Arsand, D. R., Lúcia, T., Correa, E. K. (2018). Phytotoxicity Evaluation of Wastewater from Rice Parboiling. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 101, 678-683. <https://doi.org/10.1007/s00128-018-2455-9>

Jagaba, A.H.; Kutty, S.R.M.; Hayder, G.; Latiff, A.A.A.; Aziz, N.A.A.; Umaru, I.; Ghaleb, A.A.S.; Abubakar, S.; Lawal, I.M.; Nasara, M.A. (2020). Sustainable use of natural and chemical coagulants for contaminants removal from palm oil mill effluent: A comparative analysis. Ain Shams Engineering Journal, v. 11, n. 4, p. 951-960, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.01.018>.

Junho, A.L., dos Santos, I.F.S., Silva, A.M.L. (2021). Treatment of wastewater from the dairy industry with Moringa Oleífera using two different methods. Res. Soc. Dev., 10, e21710716514. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16514>

Karasa, J., Ozola-Davidāne, R., Gruškeviča, K., Ozoliņa, K. A., Mikosa, L. I., & Kostjukovs, J. (2024). Phosphorus removal from municipal wastewater using calcium/iron oxide composites: Adsorption efficiency and impact on plant growth. *Science of The Total Environment*, 955, 177227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177227>

Mateus, G.A.P., Formentini-Schmitt, D.M., Nishi, L., et al. (2017). Coagulation/Flocculation with Moringa oleífera and membrane filtration for dairy wastewater treatment. Water Air Soil Pollut., 228, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3509-z>

Mukherjee, C., Chowdhury, R., Sutradhar, T., Begam, M., et al. (2016). Parboiled rice effluent: a wastewater niche for microalgae and cyanobacteria with growth coupled with comprehensive remediation and phosphorus biofertilization. Algal Research, 19, 225–236. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.09.009>

- Nzeyimana, B.S., Mary, A.D.C. (2024). Sustainable sewage water treatment based on natural plant coagulant: *Moringa oleifera*. *Discover Water*, 4, 15. <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00069-x>
- PulickalMannath, S., et al. (2021). Performance evaluation and intensification of novel buoyant filter bioreactor with associated secondary treatment process for rice processing industries. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 169, 108619. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108619>
- Queiroz, M.I., Koetz, P.R. (1997). Caracterização do efluente da parboilização do arroz. *Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA*, 3(3), 139-143.
- Rifi, S. K., Souabi, S., Fels, L. E., Driouich, A., Madinzi, A., Nassri, I., Hafidi, M. (2023). *Moringa oleifera* organic coagulant to eliminate pollution in olive oil mill wastewater. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100871. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100871>
- Sayanthan, S., Thusyanthy, Y. (2018). Rice Parboiling and Effluent Treatment Models; a Review. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS)*, 4, 17-23. <http://dx.doi.org/10.20431/2454-6224.0405004>
- Triques, C.C.; Klen, M.R.; Suzaki, P.Y.R; Mateus, G.A.P.; Wernke, G.; Bergamasco, R.; Rodrigues, M.L.F.(2020).Influence evaluation of the functionalization of magnetic nanoparticles with a natural extract coagulant in the primary treatment of a dairy cleaning-in-place wastewater. *Journal of Cleaner Production*, v. 242, p. 118, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118634>.
- Valverde, K. C., et al. (2018). Combined water treatment with extract of natural *Moringa oleifera* Lam and synthetic coagulant. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 13(3), 1. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2135>
- Yamaguchi, N.U., Cusioli, L.F., Quesada, H.B., Ferreira, M.E.C., Fagundes-Klen, M.R., Vieira, A.M.S., Gomes, R.G., Vieira, M.F., & Bergamasco, R. (2021). A review of

Moringa oleifera seeds in water treatment: Trends and future challenges. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 405-420.  
<https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.044>

Valverde, K.C.; Coldebella, P.F.; Silva, M.F.; Nishi, L.; Bergamasco, R. (2016). Study of classification of surface water through association of coagulants moringa oleifera lam and polyaluminium chloride. *e-xacta*, v. 9, n. 2, p. 1-8. (2016). doi: 10.18674/exacta.v9i2.1735

Sabóia, A.G.C.; Almeida, A.S.O.; Santos, H.A.S. (2020). Avaliação do uso de moringa como auxiliar de coagulação para o tratamento de águas de reservatórios eutrofizados. *Conex. Ci. e Tecnol. Fortaleza/CE*, v.14, n. 1, p. 22 - 29, 2020. DOI: 10.21439/conexoes.v14il.1833.

Teixeira, G.T.; Camacho, F.P.; Souza, V.S.; Bergamasco, R. (2017). Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. *Journal of Cleaner Production*, v.162, p. 484-490, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.004>

Araújo, J.I.R.; Oliveira, J.H.P.; Silva, J.W.V.; Silva, D.T.C.; Soares, M.F.L.R.; Sobrinho, J.L.S. (2022) Analytical methods for evaluating the stability of rutin and analyzing the formation of its degradation products: a review. *Research Society and Development*, v. 11, n. 12, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34657>.