



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
MULTICAMPI APUCARANA E LONDRINA

THAÍS RIBEIRO

**FORMULAÇÃO COAGULANTE DE *Moringa oleifera* E SULFATO DE
ALUMÍNIO ASSOCIADA À CAPSULA POROSA DE ARGILA PARA
TRATAMENTO DE ÁGUA DE PISCINA**

LONDRINA

2022

THAÍS RIBEIRO

FORMULAÇÃO COAGULANTE DE *Moringa oleifera* E SULFATO DE ALUMÍNIO ASSOCIADA À CAPSULA POROSA DE ARGILA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE PISCINA

COAGULANT FORMULATION OF *Moringa oleifera* AND ALUMINUM SULFATE ASSOCIATED WITH POROUS CLAY CAPSULE FOR POOL WATER TREATMENT

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental / multicampi Apucarana e Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Engenharia Ambiental

Linha de Pesquisa: Saneamento

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Edilaine Regina Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Luis Fernando Cabeça

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



THAIS RIBEIRO

**FORMULAÇÃO COAGULANTE DE MORINGA OLEIFERA E SULFATO DE ALUMÍNIO
ASSOCIADA À CAPSULA POROSA DE ARGILA PARA TRATAMENTO DE ÁGUA DE
PISCINA**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Ambiental.

Data de aprovação: 11 de Março de 2022

Prof.a Edilaine Regina Pereira, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Camila Clementina Arantes, Doutorado - Universidade Federal do Abc

Prof Ricardo Nagamine Costanzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 15/03/2022.

Aos meus avós maternos Maria e Joaquim, aos meus avós paternos Josefina e João (*in memoriam*) e aos meus pais, Aparecida e Claudio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à toda minha família, em especial aos meus pais, Aparecida e Claudio, pois sempre acreditaram no meu potencial e sempre me incentivaram e apoiaram na busca de sonhos e objetivos. À minha irmã, Isabela, que com as mais variadas conversas, me ajudou a espairer quando necessário.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela estrutura e suporte disponibilizados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao professor Dr. Marcio Florian, integrante do departamento de engenharia de materiais, pela ajuda quanto aos conhecimentos de cerâmica e síntese de materiais.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Luis Fernando Cabeça, pelo auxílio, empolgação e conhecimentos transmitidos sem os quais o presente trabalho não teria sido realizado.

À minha orientadora, Prof. Dr^a. Edilaine Regina Pereira, pelos ensinamentos e oportunidades dados a mim, não apenas durante a realização da pós-graduação, mas durante os sete anos de parceria na vida acadêmica. Desta forma, foi a pessoa que me abriu as portas para este mundo e se tornou a responsável pela profissional que sou hoje.

Ao Elcio, que desde o início esteve presente me ouvindo, apoiando e incentivando, sempre mostrando que eu sou capaz.

Aos amigos e colegas, em especial ao Afonso e ao José, que mesmo sem total ciência, me ajudaram emocionalmente quando mais precisei.

Por fim, à todas as pessoas que de algum modo estiveram envolvidas de forma direta ou indireta nesta minha conquista. Muito obrigada a todos!

RIBEIRO, T. **Formulação coagulante de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio associada à capsula porosa de argila para tratamento de água de piscina.** 2022 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

RESUMO

O estudo propôs obter tratamento alternativo para clarificação de água de piscina visando reduzir a concentração de sulfato de alumínio utilizado neste processo. A formulação coagulante proposta baseou-se na associação do sulfato de alumínio à proteína extraída da semente de *Moringa oleifera*. Inicialmente manipulou-se a semente de *Moringa oleifera* obtendo diferentes soluções: proteína (1g.L^{-1}) e óleo (1mL.L^{-1}) extraídos via Soxhlet, solução salina líquida (1g.L^{-1}) e liofilizada (1g.L^{-1}). Submeteu-se as formulações ao Jar-Test monitorando pH e turbidez. A solução salina liofilizada foi estatisticamente mais eficiente, reduzindo 87% da turbidez e mantendo o pH no intervalo estabelecido pela NBR 10.818. Posteriormente, associou-se a solução liofilizada ao sulfato de alumínio nas proporções 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7 e 0:10 e as submeteu ao Jar-Test. Ao final, a proporção 3:7 foi a mais eficiente, não alterando o pH e reduzindo em 98% a turbidez, eficiência estatisticamente igual à aferida utilizando apenas o sulfato de alumínio (99%). Paralelamente obteve-se a cápsula porosa de barbotina, adicionou-se em seu interior a formulação na proporção 3:7 e submeteu o conjunto ao tratamento de água com turbidez de 100 NTU. Nesta etapa constatou-se que a cápsula mantida na superfície, contendo tanto a formulação em pó quanto diluída, reduz em 98% a turbidez, porcentagem estatisticamente superior ao mesmo tratamento coagulante, porém sem auxílio da cápsula. Obtida a formulação coagulante ideal (proporção 3:7) e comprovada a eficiência da cápsula, prosseguiu-se à aplicação dos tratamentos em 30 L de água com turbidez de 100 NTU testando, nesta etapa, a condição de agitação. Monitorou-se a turbidez, condutividade elétrica, pH, alcalinidade total e dureza total. Todos os tratamentos obtiveram resultados estatisticamente superiores ao teste de controle. O pH, dureza total e alcalinidade total não sofreram alterações expressivas causadas pelos tratamentos. A condutividade elétrica correspondeu a aproximadamente $550\ \mu\text{S.cm}^{-1}$ nos tratamentos testados em meio inerte e a $450\ \mu\text{S.cm}^{-1}$ sob agitação. Em meio inerte reduziu-se a turbidez em 91% (pó) e 89% (diluída), e sob agitação atingiu-se remoções de 96% (pó) e 91% (diluída). Excetuando-se a formulação diluída em meio inerte todos os tratamentos foram considerados estatisticamente iguais entre si. Assim, constatou-se que a formulação obtida associando *Moringa oleifera* ao sulfato de alumínio na proporção 3:7 inserida em cápsula porosa de barbotina é eficiente na clarificação da água de piscina reduzindo em até 30% o uso do sal sem comprometer a eficiência na clarificação. Ademais, verificou-se a importância da agitação ao aplicar os tratamentos, visto que melhores resultados foram obtidos neste cenário.

Palavras-chave: *Moringa oleifera*. Sulfato de alumínio. Tratamento de água. Cápsula porosa. Piscina.

RIBEIRO, T. **Coagulant formulation of *Moringa oleifera* and aluminum sulfate associated with porous clay capsule for pool water treatment.** 2022. 140f. Dissertation (Master in Environmental Engineering) – Federal University of Technology – Paraná, Londrina, 2022.

ABSTRACT

The study proposed to obtain an alternative treatment for the clarification of swimming pool water in order to reduce the concentration of aluminum sulfate used in this process. The proposed coagulant formulation was based on the association of salt with the protein extracted from the seed of *Moringa oleifera*. Initially, the seed of *Moringa oleifera* was manipulated obtaining different solutions: protein (1g.L^{-1}) and oil (1mL.L^{-1}) extracted via Soxhlet, liquid saline solution (1g.L^{-1}) and lyophilized (1g.L^{-1}). The formulations were submitted to Jar-Test monitoring pH and turbidity. The lyophilized saline solution was statistically more efficient, reducing 87% of the turbidity and maintaining the pH in the range established by NBR 10.818. Subsequently, the lyophilized solution was associated with aluminum sulfate in the proportions 10:0, 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7 and 0:10 and subjected them to the Jar-Test. In the end, the 3:7 ratio was the most efficient, not altering the pH and reducing turbidity by 98%, an efficiency statistically equal to that measured using only aluminum sulfate (99%). At the same time, the porous slip capsule was obtained, the formulation was added inside it in a 3:7 proportion and the whole was subjected to water treatment with a turbidity of 100 NTU. In this step, it was found that the capsule kept on the surface, containing both the powdered and diluted formulations, reduces the turbidity by 98%, a percentage statistically higher than the same coagulant treatment, but without the aid of the capsule. Once the ideal coagulant formulation was obtained (3:7) and the efficiency of the capsule was proven, the treatments were applied in 30 L of water with a turbidity of 100 NTU, testing, at this stage, the agitation condition. Turbidity, electrical conductivity, pH, total alkalinity and total hardness were monitored. All treatments obtained results statistically superior to the control test. The pH, total hardness and total alkalinity did not suffer significant changes caused by the treatments. The electrical conductivity corresponded to approximately $550\ \mu\text{S.cm}^{-1}$ in the treatments tested in an inert medium and to $450\ \mu\text{S.cm}^{-1}$ under agitation. In an inert medium, turbidity was reduced by 91% (powder) and 89% (diluted), and under agitation, removals of 96% (powder) and 91% (diluted) were achieved. Except for the formulation diluted in an inert medium, all treatments were considered statistically equal. Thus, it was found that the formulation obtained by associating *Moringa oleifera* with aluminum sulfate in the proportion 3:7 inserted in a porous slipper capsule is efficient in the clarification of swimming pool water, reducing the use of salt by up to 30% without compromising the efficiency in clarification. Furthermore, it was verified the importance of agitation when applying the treatments, since better results were obtained in this scenario.

Keywords: *Moringa oleifera*. Aluminum sulfate. Water treatment. porous capsule. Pool.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do sistema hidráulico de piscina.	23
Figura 2 – a) Árvore de <i>Moringa oleifera</i> , (b) vagens e (c) flores.	35
Figura 3 – Sementes de <i>Moringa oleifera</i> (a) no interior e (b) fora da vagem, (c) sem as cascas e (d) trituradas.	36
Figura 4 – Fluxograma de atividades.	40
Figura 5 – (a) Sementes de <i>Moringa oleifera</i> sem casca, naCl e (b) solução coagulante a base de <i>Moringa oleifera</i>	42
Figura 6 – Placas de petri envoltas em plástico filme pvc contendo solução salina líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	42
Figura 7 – Amostras de solução salina à base de <i>Moringa oleifera</i> (a) após processo de liofilização e (b) após raspagem das placas.	43
Figura 8 – Sementes de <i>Moringa oleifera</i> (a) trituradas e (b) acondicionadas em sachês de papel filtro.	44
Figura 9 – Representação do extrator soxhlet com amostras de <i>Moringa oleifera</i>	44
Figura 10 – Extrator soxhlet acoplado ao evaporador rotativo modelo re-52a e marca toption.....	45
Figura 11 – Curva padrão para o método de bradford	47
Figura 12 – Equipamento jar-test da marca nova ética modelo jar.217.....	49
Figura 13 – (a) Semiesfera; (b) cápsula com as semiesferas coladas; e (c) abertura para inclusão da formulação coagulante.....	53
Figura 14 – Representação do teste de liberação das formulações coagulante inseridas nas cápsulas porosas	53
Figura 15 – Teste de liberação das formulações coagulantes contidas no interior das cápsulas porosas.....	54
Figura 16 – Representação do aparato utilizado para realizar o teste de liberação da formulação coagulante em meio inerte e em meio sob agitação.....	56
Figura 17 – Sementes de <i>Moringa oleifera</i> com e sem cascas colhidas em 2021, 2020, 2019, 2015 e 2014	59
Figura 18 – Resultado visual do teste de jarros realizado utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> obtida por diferentes métodos.	63

Figura 19 – Valores médios de pH amostrados no teste de jarros referente às formulações coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i>	63
Figura 20 – (a) Valores médios de turbidez e (b) percentuais de eficiência de remoção amostrados no teste de jarros referente às formulações coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i>	65
Figura 21 – Valores médios de pH referentes ao tratamento físico-químico com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> associadas ao sulfato de alumínio.....	67
Figura 22 – Temperatura média obtida durante o teste físico-químico com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> e sulfato de alumínio.....	70
Figura 23 – Valores médios de condutividade elétrica referentes ao teste físico-químico com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> e sulfato de alumínio.....	71
Figura 24 – Eficiência na remoção de turbidez ao decorrer do teste com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> e sulfato de alumínio	74
Figura 25 – Percentuais médios de eficiência na remoção de turbidez oriundos do teste físico-químico utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa.....	80
Figura 26 – Valores médios de pH amostrados na 3ª fase.....	84
Figura 27 – Dados médios de condutividade elétrica aferidos ao decorrer do teste físico-químico realizado na 3ª fase.	86
Figura 28 – Valores de alcalinidade total e dureza total aferidos ao início e ao final de cada tratamento	88
Figura 29 – Valores percentuais médios de eficiência na remoção de turbidez amostrados no (a) 1º dia, (b) 2º dia, (c) 3º dia, (d) 4º dia e (e) 5º dia.	90
Figura 30 – Dados médios de pH aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> com diferentes concentrações de NaCl.....	103
Figura 31 – Dados médios de condutividade elétrica aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> com diferentes concentrações de NaCl.....	104

Figura 32 – Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> com diferentes concentrações de nacl.	106
Figura 33 – Dados médios de pH aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> obtidas com sementes colhidas em diferentes anos.	109
Figura 34 – Dados médios de condutividade elétrica aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> obtidas com sementes colhidas em diferentes anos.	111
Figura 35 – Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> obtidas com sementes colhidas em diferentes anos.	113
Figura 36 – Dados médios de pH aferidos durante teste físico-químico utilizando por 100 dias a mesma solução salina à base de <i>Moringa oleifera</i> liofilizada.	115
Figura 37 – Dados médios de condutividade elétrica aferidos durante teste físico-químico utilizando por 100 dias a mesma solução salina à base de <i>Moringa oleifera</i> liofilizada.....	117
Figura 38 – Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos durante teste físico-químico utilizando por 100 dias a mesma solução salina à base de <i>Moringa oleifera</i> liofilizada.....	120
Figura 39 – Dados médios de pH aferidos durante teste físico-químico utilizando por 40 dias a mesma solução salina líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	122
Figura 40 – Dados médios de condutividade elétrica aferidos durante teste físico-químico utilizando por 40 dias a mesma solução salina líquida à base de <i>moringa oleifera</i>	124
Figura 41 – Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos durante teste físico-químico utilizando por 40 dias a mesma solução salina líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise química da composição em 100g de semente de <i>Moringa oleifera</i>	37
Tabela 2 – Volumes adicionados aos tubos para determinação da curva padrão para o método de Bradford.....	46
Tabela 3 – Absorbância e concentração dos tubos na curva padrão	46
Tabela 4 – Parâmetros monitorados na fase de teste das formulações à base de <i>Moringa oleifera</i> e suas respectivas especificações.....	49
Tabela 5 – Concentrações dos coagulantes ministrados nos diferentes tratamentos.	50
Tabela 6 – Parâmetros monitorados na fase de teste da formulação liofilizada à base de <i>Moringa oleifera</i> em associação ao sulfato de alumínio.	51
Tabela 7 – Parâmetros, metodologias e frequência de monitoramento empregados durante o teste de liberação	54
Tabela 8 – Parâmetros monitorados ao decorrer do teste de liberação em aquário.....	57
Tabela 9 – Detalhamento da frequência de análise e monitoramento de cada parâmetro ao decorrer do ensaio	57
Tabela 10 – Parâmetros, metodologias e frequência de monitoramento do teste de variação de nacl na obtenção de solução coagulante salina à base de <i>Moringa oleifera</i>	61
Tabela 11 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para os dados de pH com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> e sulfato de alumínio para todos os tempos de sedimentação.	69
Tabela 12 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para análise de temperatura com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> e sulfato de alumínio	
ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	
Tabela 13 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de condutividade elétrica com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> e sulfato de alumínio.....	73
Tabela 14 – Teste De Scott-Knott para percentuais de remoção de turbidez com diferentes formulações coagulantes de <i>Moringa oleifera</i> e sulfato de alumínio.....	76

Tabela 15 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de eficiência de remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa.....	81
Tabela 16 – Análise De Variância (Anova) à 5% de significância para valores de ph amostrados na 3ª fase.....	85
Tabela 17 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa na 3ª fase.	91
Tabela 18 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no segundo dia da 3ª fase.....	93
Tabela 19 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no terceiro dia da 3ª fase.....	96
Tabela 20 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no quarto dia da 3ª fase.	98
Tabela 21 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no quinto dia da 3ª fase.....	100
Tabela 22 – Percentuais médios iniciais e finais de remoção de turbidez amostrados durante os cinco dias de ensaio para os tratamentos D1, D2, D3 E D4 bem como para o teste de controle.	101
Tabela 23 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos com diferentes concentrações de NaCl	105
Tabela 24 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para os percentuais de remoção da turbidez aferidos em tratamentos com diferentes concentrações de NaCl	108
Tabela 25 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de ph aferidos em tratamentos utilizando soluções coagulantes à base e <i>moringa oleifera</i> obtida com sementes colhidas em diferentes anos.....	110
Tabela 26 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos utilizando soluções coagulantes à base e <i>Moringa oleifera</i> obtida com sementes colhidas em diferentes anos.	112

Tabela 27 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de remoção de turbidez aferidos em tratamentos utilizando soluções coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> obtida com sementes colhidas em diferentes anos.	114
Tabela 28 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de ph aferidos em tratamentos utilizando por 100 dias a solução coagulante à base de <i>Moringa oleifera</i> Liofilizada.....	116
Tabela 29 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos utilizando por 100 dias a solução coagulante à base de <i>Moringa oleifera</i> Liofilizada.....	118
Tabela 30 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de remoção de turbidez aferidos em tratamentos utilizando por 100 dias a solução coagulante à base de <i>Moringa oleifera</i> Liofilizada	121
Tabela 31 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de ph aferidos em tratamentos utilizando por 40 dias a solução coagulante líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	123
Tabela 32 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos utilizando por 40 dias a solução coagulante líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	125
Tabela 33 – Teste De Scott-Knott ($P < 0,05$) para dados percentuais de remoção de turbidez aferidos em tratamentos utilizando por 40 dias a solução coagulante líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	127

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURA

%	Porcentagem
°C	Graus Celsius
°C.min ⁻¹	Graus Celsius por minuto
µL	Microlitro
µm	Micrômetro
µS	MicroSiemens
µS.cm ⁻¹	MicroSiemens por centímetro
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al(OH) ₃	Hidróxido de alumínio
Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄	Caulinita
Al ₂ (SO ₄) ₃	Sulfato de alumínio
Al ³⁺	Íon de alumínio
ANAPP	Associação Nacional das Empresas e Profissionais de Piscinas
ANOVA	Análise de Variância
APHA	American Public Health Association
BSA	Bovine Serum Albumin
C ₆ H ₁₁ O ₄ N	Quitosana
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
cm	Centímetro
cm ⁻¹	Por centímetro
Fe(OH) ₃	Hidróxido de ferro
Fe ³⁺	Íon de ferro
g	Gramas
g.L ⁻¹	Gramas por litro
H	Horas
H ⁺	Hidrogênio
H ₂ O	Água
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico

H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
ha	Hectare
HOCl	Ácido hipocloroso
KDa	QuiloDalton
L	Litro
L ⁻¹	Por litro
m	Metro
M	Molar
mg L ⁻¹	Miligrama por litro
mg.mL ⁻¹	Miligrama por mililitro
mgPt.Co.L ⁻¹	Miligrama de platina-cobalto por litro
mL	Mililitro
mL.L ⁻¹	Mililitro por litro
NaCl	Cloreto de sódio
NBR	Norma Brasileira
NH ₂ -	Amina
NH ₃ ⁺	Amônia
Nm	Nanometro
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
OH ⁻	Hidroxila
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Parte por milhão
PVC	Policloreto de vinila
s ⁻¹	Por segundo
SO ₄ ²⁻	Ânion sulfato
t	Tempo
uC	Unidade de cor
uT	Unidade de turbidez

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
1.1 OBJETIVOS.....	21
1.1.1 Objetivo geral.....	21
1.1.2 Objetivos específicos	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 RECURSOS HÍDRICOS	22
2.2 FUNCIONAMENTO DE PISCINAS.....	22
2.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS	27
2.4 TIPOS DE COAGULANTES	31
2.5 RECIPIENTE ESFÉRICO DE ARGILA	39
3 MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1 1ª FASE – MANIPULAÇÃO DAS SEMENTES DE <i>Moringa oleifera</i> PARA OBTENÇÃO DE FORMULAÇÃO COAGULANTE E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MAIS EFICIENTE POR MEIO DE TESTES FÍSICO-QUÍMICOS .	41
3.1.1 Manipulação das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	41
3.1.1.1 Solução coagulante salina líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	41
3.1.1.2 Solução coagulante salina à base de <i>Moringa oleifera</i> submetida ao processo de liofilização	42
3.1.1.3 Extração da proteína de <i>Moringa oleifera</i> utilizando Soxhlet.....	43
3.1.1.4 Quantificação da proteína via método Bradford	45
3.1.1.4.1 Curva padrão	45
3.1.2 Água com turbidez sintética	47
3.1.3 Concentrações das formulações coagulantes.....	48
3.1.4 Ensaio físico-químico – Teste de Jarros.....	48
3.1.5 Formulação coagulante orgânica associada ao sulfato de alumínio.....	50
3.2 2ª FASE – OBTENÇÃO DA CÁPSULA DE ARGILA POROSA E ASSOCIAÇÃO À FORMULAÇÃO COAGULANTE	52
3.2.1 Síntese de cerâmicas.....	52
3.2.1.1 Preparação da suspensão cerâmica barbotina	52
3.2.1.2 Obtenção das cápsulas porosas	52
3.2.2 Teste de liberação	53

3.3 3ª FASE – TESTES FÍSICO-QUÍMICOS UTILIZANDO A CÁPSULA POROSA ASSOCIADA À FORMULAÇÃO COAGULANTE À BASE DE <i>Moringa oleifera</i> E SULFATO DE ALUMÍNIO	55
3.3.1 Formulação coagulante encapsulada.....	55
3.3.2 Formulações coagulantes associadas às cápsulas de argila	55
3.3.3 Teste de clarificação	55
3.3.3.4 Parâmetros monitorados.....	56
3.4 LEGISLAÇÃO	58
3.5 TESTES OBSERVATIVOS	59
3.5.1 Utilização de sementes de <i>Moringa oleifera</i> colhida em anos distintos para obtenção da solução coagulante	59
3.5.2 Variação na concentração de NaCl na obtenção da solução coagulante salina à base de <i>Moringa oleifera</i>	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 1ª FASE – MANIPULAÇÃO DAS SEMENTES DE <i>Moringa oleifera</i> PARA OBTENÇÃO DE FORMULAÇÃO COAGULANTE E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MAIS EFICIENTE VIA TESTES FÍSICO-QUÍMICOS	62
4.1.1 Formulações coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i>	62
4.1.1.1 pH.....	63
4.1.1.2 Turbidez.....	65
4.1.1.3 Considerações Parciais	66
4.1.2 Formulações coagulantes à base de <i>Moringa oleifera</i> associadas ao sulfato de alumínio.....	67
4.1.2.1 pH.....	67
4.1.2.2 Temperatura	70
4.1.2.3 Condutividade elétrica.....	71
4.1.2.4 Turbidez.....	74
4.1.2.5 Considerações parciais.....	78
4.2 2ª FASE – FORMULAÇÃO COAGULANTE ASSOCIADA À CÁPSULA POROSA VISANDO DETERMINAR O MELHOR CENÁRIO PARA A CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA DE PISCINA	79
4.2.1 Teste de coagulação da cápsula porosa associada à formulação coagulante de sulfato de alumínio e <i>Moringa oleifera</i>	79
4.2.2 Considerações parciais.....	83

4.3	3ª FASE – TESTES FÍSICO-QUÍMICOS UTILIZANDO A CÁPSULA POROSA ASSOCIADA À FORMULAÇÃO COAGULANTE À BASE DE <i>Moringa oleifera</i> E SULFATO DE ALUMÍNIO NA PROPORÇÃO 3:7	83
4.3.1	pH.....	84
4.3.2	Condutividade elétrica.....	86
4.3.3	Alcalinidade total e dureza total	88
4.3.4	Turbidez.....	90
4.3.5	Considerações Parciais	101
4.4	TESTES DE APERFEIÇOAMENTO NA EFICIÊNCIA DA SOLUÇÃO COAGULANTE À BASE DE <i>Moringa oleifera</i>	103
4.4.1	Teste de variação na concentração de NaCl na obtenção da solução salina à base de <i>Moringa oleifera</i>	103
4.4.2	Teste com sementes colhidas em diferentes anos.....	109
4.4.3	Teste de Prateleira.....	115
4.4.3.1	Solução coagulante salina à base de <i>Moringa oleifera</i> liofilizada	115
4.4.3.2	Solução coagulante salina líquida à base de <i>Moringa oleifera</i>	122
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	129
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	130
	REFERÊNCIAS	132

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Associação Nacional das Empresas e Profissionais de Piscinas (ANAPP), em 2018, o Brasil era o segundo maior mercado de piscinas do mundo, possuindo mais de 2,8 milhões de instalações de uso coletivo e privado, voltadas para o lazer, esportes e à hidroterapia. A associação indica, ainda, que o mercado movimentava cerca de R\$ 4,5 bilhões por ano (ANAPP, 2019).

Diante das constantes crises hídricas que o país tem enfrentado é inviável que a limpeza de piscinas seja realizada pela troca parcial ou total de água. Assim, visa-se que esta seja mantida e tratada de modo físico-químico e por processo biológico utilizando produtos próprios como, por exemplo: cloro, sulfato de alumínio e algicidas; para que a água seja considerada apta à utilização humana.

Entretanto, alguns problemas são gerados frente a constante e, muitas vezes inapropriada, aplicação de produtos químicos na limpeza de piscinas. Quando utilizados em excesso os produtos podem ocasionar problemas à saúde humana, sendo os mais recorrentes: a irritabilidade nas mucosas respiratórias e orais, no esôfago, estômago e olhos. Quando em baixa concentração o tratamento é ineficaz, assim podem ocorrer transmissões de doenças infecciosas como conjuntivite, afecções de pele e infecções respiratórias por bactérias e fungos presentes no ambiente (SALAZAR, IBARRA, MAYOR, 2008; BUTIÃO, 2011).

Quanto aos problemas no tratamento, podem ser observadas na água altas concentrações de metais pesados motivadas pelo uso excessivo de produtos químicos como, por exemplo, o sulfato de alumínio. O coagulante inorgânico em questão, quando aplicado por muito tempo em piscinas, ao passar pelo filtro e interagir com a areia pode comprometer a eficiência do equipamento, fazendo com que a areia se aglutine e a água, ao invés de ser tratada, passe por caminhos preferenciais (BRASIL PISCINAS, 2018). Pesquisas ainda relacionam o alumínio, contido no coagulante inorgânico, com o desenvolvimento precoce do Alzheimer (EGUCHI, ARANTEZ, 2019; CAMACHO-OVIEDO, et al, 2020).

O cloro, outro produto químico muito utilizado em piscinas, especialmente na fase de desinfecção, ao ser manuseado de maneira incorreta pode afetar

negativamente a piscina, bem como a saúde de quem a utiliza. O produto, ao entrar em contato com algas e até mesmo urina pode sofrer reações químicas formando subestruturas orgânicas halogenadas, trihalometanos ou clorofenóis, além de conferir risco crônico devido a seu efeito cancerígeno (SALAZAR, IBARRA, MAYOR, 2008; BUTIÃO, 2011).

Assim, a cada dia estudos procuram meios de diminuir a utilização de produtos químicos nos tratamentos de águas de piscinas. Uma das alternativas é o emprego de ozônio no processo de desinfecção da água, porém ao passo que possui uma grande eficiência possui também um elevado custo em sua instalação, o que para muitos casos, inviabiliza sua escolha (SALAZAR, IBARRA, MAYOR, 2008; KIM, J. 2018).

Outra alternativa é a substituição ou a associação dos produtos químicos citados a coagulantes orgânicos comumente estudados no tratamento de água. Um exemplo é o coagulante extraído de sementes de *Moringa oleifera*, que contém propriedades coagulantes e que tem sido muito promissor na clarificação de água e até mesmo na diminuição de microrganismos e algas presentes em meio aquático (LOPES, 2016; MIGUEL, et al., 2017; PEREIRA, E., 2021).

Estudos apontam que a propriedade coagulante da semente de *Moringa oleifera* está em sua proteína de caráter catiônico denominada Mo-CBP. Assim, uma possível alternativa é a extração desta proteína e sua utilização em maior concentração para aumentar a quantidade de características coagulantes no meio a ser tratado (GASSENCHIMIDT, et al., 1995; PEREIRA, 2014; LOPES, 2016).

Deste modo, propõe-se neste estudo o desenvolvimento de um produto inovador de simples manutenção e utilização para o tratamento de água de piscinas que utilize o substrato coagulante extraído da semente de *Moringa oleifera* na substituição total ou parcial dos produtos inorgânicos melhorando a eficiência de tratamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolvimento de formulação coagulante composta por extrato da semente de *Moringa oleifera* associada ao sulfato de alumínio e alocada em esfera de barbotina porosa para tratamento de água de piscina.

1.1.2 Objetivos específicos

- Extrair as proteínas da semente de *Moringa oleifera* utilizando diferentes métodos: Soxhlet, liofilização e processamento em liquidificador;
- Determinar a solução à base de *Moringa oleifera* mais eficiente quanto à taxa de coagulação através de testes físico-químicos;
- Definir as proporções adequadas entre a proteína da *Moringa oleifera* e do sulfato de alumínio a fim de se obter a melhor taxa de coagulação;
- Desenvolver um recipiente poroso de barbotina para alocar a formulação, para que esta seja liberada lentamente e que tenha sua eficácia comprovada através de testes de liberação;
- Monitorar o tempo de armazenamento dos coagulantes para análise de perda de eficiência;
- Executar testes observativos relacionados à concentração de NaCl utilizado na solução coagulante à base de *Moringa oleifera* bem como à qualidade das sementes de acordo com o ano de colheita.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RECURSOS HÍDRICOS

A água é um recurso natural essencial na manutenção da vida no planeta, porém sua parcela doce acessível corresponde somente a cerca de 0,7% (NOWACKI; RANGEL, 2014; VON SPERLING, 2007). Através do seu ciclo hidrológico a água desempenha papéis fundamentais em diferentes esferas do ambiente por meio do transporte de matéria e energia.

Com o aumento da população mundial cresceu também a demanda de água para a realização de diversas atividades como, por exemplo, o abastecimento público e industrial, a agropecuária e também a geração de energia (PHILIPPI JR, 2005; VON SPERLING, 2007).

Porém, apesar dos corpos hídricos realizarem autodepuração, a excessiva demanda de água, a má utilização e descarte incorreto inviabilizam que o processo seja devidamente executado. Desta forma, pode ocorrer acúmulo de matéria orgânica nos corpos d'água promovendo a eutrofização e consequente desequilíbrio do ecossistema local.

Logo, torna-se necessário que a água receba tratamento antes de ser direcionada novamente aos rios e para acelerar o processo de clarificação comumente utiliza-se tratamentos físico-químicos onde são aplicados produtos com características coagulantes normalmente de natureza inorgânica.

Contudo, há locais com baixa movimentação da água, como nos casos de reservatórios e piscinas que, devido aos baixos valores de turbidez e cor, um tratamento mais simplificado com a substituição total ou parcial do coagulante inorgânico por agentes orgânicos já seria o suficiente.

2.2 FUNCIONAMENTO DE PISCINAS

Diante da quantidade de instalações de piscinas e das frequentes crises hídricas que o país enfrenta é necessária responsabilidade ambiental no tratamento do volume de água utilizado. Assim, práticas como a substituição parcial da água suja por um volume limpo tornam-se inviáveis.

Atualmente as piscinas são projetadas e instaladas para que a água receba ao menos um tipo de tratamento. Na Figura 1 está representado o sistema hidráulico de uma piscina aquecida simples.

FIGURA 1 - Representação do sistema hidráulico de piscina.

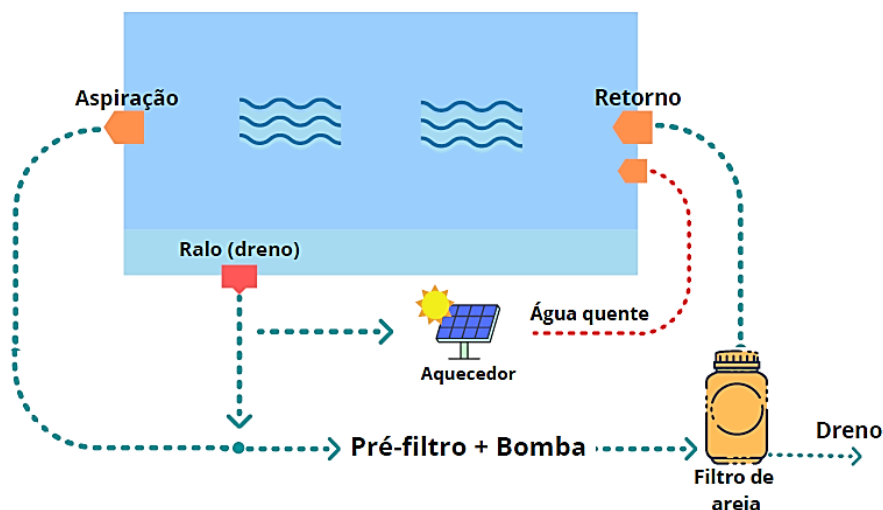


FIGURA: O autor (2021).

O sistema hidráulico é composto por saídas de água (aspiração e ralo drenante) ligadas a um sistema de pré-filtro e bomba que direciona a água a um filtro de areia que tem como papel a retenção de partículas. Após o tratamento físico a água pode retornar a piscina ou ser direcionada a rede coletora de esgoto através de um segundo dreno no sistema. No entanto, apenas o tratamento físico por floculação não é o suficiente para tornar a água própria para a utilização humana em fins recreativos, é necessário que ao mesmo tempo se empregue o tratamento químico através da aplicação de produtos como cloro, floculantes, corretores de pH e algicidas (SALAZAR, IBARRA, MAYOR, 2008; BUTIÃO, 2011).

2.2.1 Tratamento Físico-químico

Os métodos utilizados no tratamento de água de piscina são de caráter físico e químico. Os métodos físicos objetivam a remoção de sólidos flutuantes, sólidos em suspensão, areias, óleos e gorduras. Para isto, são utilizados instrumentos como grades (skimmers), peneiras e filtros. Os métodos químicos, por sua vez, são utilizados para a remoção de material coloidal, cor, turbidez, odor, metais pesados, óleos, bem como para neutralizar ácidos e bases

(BRAILE; CAVALCANTI, 1993). Assim, o tratamento físico-químico utilizado é baseado nos processos de coagulação/floculação/sedimentação seguidos por filtração.

Também são encontradas partículas coloidais originadas dos corpos dos usuários como suor, pele morta, microrganismos, urina, entre outros. Outras partículas coloidais encontradas são microrganismos (bactérias, fungos, microalgas) e poeira. Tais substâncias possuem peso e tamanho insuficientes para que sejam removidas por processos gravitacionais.

Comumente as partículas coloidais presentes no meio aquoso possuem tamanho entre 0,01 e 1 μm , assim a força de atração existente na superfície é menor do que a força de repulsão elétrica, logo tais partículas tendem a se repelir umas das outras (METCALF; EDDY, 2003)

Para a retirada destes colóides são adicionados componentes chamados coagulantes, comercialmente denominados floculantes. Os coagulantes são empregados para dar início ao processo de coagulação e, ao entrarem em contato com o meio aquoso conseguem, por meio da alteração de cargas, desestabilizar partículas do meio fazendo com que sejam atraídas entre si, e formem colóides maiores e mais pesadas, possibilitando a retirada destes (KURNIAWAN, et al., 2006; LIBÂNIO, 2016).

A desestabilização das partículas coloidais presentes no meio aquoso está diretamente ligada com a redução das forças de repulsão entre colóides que possuem carga negativa devido à adição de coagulante adequado a fim de homogeneizar a mistura (PAVANELLI, 2001)

Existem 4 mecanismos de desestabilização pelo qual a coagulação pode ocorrer (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017; PAVANELLI, 2001; LIBÂNIO, 2005; DAVIS, 2010), são eles:

(I) Compressão da dupla camada ou Compressão da camada difusa: segundo os autores esses mecanismos definem-se como a desestabilização das camadas que envolvem as partículas presentes no meio aquoso. Tal desestabilização ocorre a partir da adição do agente coagulante no meio e consequente adição de íons de carga contrária. Tais íons provenientes do agente coagulante comprimem a dupla camada das partículas reduzindo assim a força de repulsão que existe entre elas. Assim, tais partículas se unem por meio do movimento browniano e assim permanecem devido às forças de Van der Waals.

(II) Adsorção e neutralização de cargas: neste mecanismo de coagulação as cargas das partículas são neutralizadas devido à adição do agente coagulante, sejam eles: sais metálicos ionizados, polímeros catiônicos ou sais metálicos pré-hidrolisados de carga positiva (DAVIS, 2010).

(III) Varredura: polímeros com sítios ionizáveis ao longo de suas cadeias, se adsorvem à superfície coloidal, formando pontes entre as partículas.

(IV) Adsorção e formação de pontes: este mecanismo ocorre quando doses superiores à de saturação de hidróxidos metálicos e de sais metálicos em solução formam precipitados que capturam os coloides (DAVIS, 2010).

A coagulação é um procedimento de ação considerado rápido e segundo Castilho Jr (2016), tal etapa pode demorar entre milésimos de segundos e 100 segundos para ocorrer.

Os parâmetros que normalmente influenciam na coagulação são a condutividade elétrica, o pH e a temperatura, sendo que o pH tem grande influência sobre o potencial zeta (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017). Ao tratar a água de um reservatório como a piscina, mais parâmetros devem ser considerados e mantidos em condições ideais, sendo estes a alcalinidade, dureza total, dureza cálcica e cloro.

Ao aplicar o coagulante na piscina é importante que a água esteja sob algum tipo de agitação a fim de que todo ou a maior parte possível do volume entre em contato com o produto, pois quanto maior o volume em contato, maior será a quantidade de partículas coloidais desestabilizadas.

Ao atingir o tempo mínimo necessário para que as partículas tenham formado coágulos, é importante que a agitação seja imediatamente cessada a fim de que não ocorra a separação dos coágulos formados. Desta forma a mistura passa a ser lenta dando início ao processo de floculação.

Conceitualmente, a floculação é uma etapa do tratamento de água que tem como propósito unir as partículas sólidas desestabilizadas na fase de coagulação a fim de que estas, ao formarem os flocos, atinjam peso e tamanho suficiente para que, posteriormente, ocorra a separação destes do meio aquoso, seja por meio da sedimentação, filtração ou flotação (DI BERNARDO, 2005; HENZE et al., 2002).

A velocidade de formação dos flocos depende da velocidade de agitação do meio aquoso. Assim, é necessário que tal agitação seja suficientemente alta

a fim de que as partículas se colidam formando os flocos, ao mesmo tempo lenta o suficiente para que tal aglomeração não se desfaça (METCALF & EDDY, 2003; VAZ, 2009; DAVIS, 2010).

Segundo Davis (2010) são dois os mecanismos de floculação:

a) Floculação pericinetica: ocorre em partículas pequenas ($< 0,1 \mu\text{m}$ de diâmetro) e é consequência do movimento browniano;

b) Floculação ortocinetica: é causada pela mistura da massa d'água, ocorrendo em partículas com diâmetros maiores que $1 \mu\text{m}$ de diâmetro.

Por fim, após ser cessada a agitação e a movimentação da água, inicia-se o processo de sedimentação, esse definido como um fenômeno físico onde as partículas suspensas descendem em meio aquoso por ação gravitacional sob a densidade dos componentes do meio (DI BERNARDO, 2005). É a operação unitária mais amplamente utilizada na remoção de matérias coloidais ou em suspensão no tratamento de águas (METCALF & EDDY, 2003).

A sedimentação pode ocorrer de quatro formas diferentes, classificadas de acordo com a concentração e a tendência de interação entre as partículas, tais formas são: Partículas discretas, partículas floculantes, zona e compressão (DI BERNARDO, 2005; METCALF & EDDY, 2003).

A sedimentação de partículas discretas ocorre em meio aquoso com baixa concentração de sólidos onde não há muita interação entre as partículas e a velocidade de agitação no meio é constante. Esta etapa é comumente utilizada para a remoção de sólidos grosseiros e areias.

A sedimentação de partículas floculantes ocorre em meio aquoso onde os sólidos encontram-se mais diluídos, assim, quando se unem sedimentam-se de modo mais acelerado. Esse modo de sedimentação é geralmente empregado nas etapas de tratamento onde ocorreram previamente os processos de coagulação e floculação.

A forma de sedimentação por zona ocorre em meios onde a concentração de sólidos é considerada intermediária e onde tais sólidos, ao se aglutinarem, sedimentam-se como massa única. Tal sedimentação habitualmente dá-se em tratamentos secundários associados a tratamentos biológicos.

Por fim, a sedimentação por compressão acontece em meios onde a concentração de sólidos é elevada e para haver a sedimentação é necessário

que ocorra a compressão das camadas inferiores. Tal sedimentação ocorre apenas em fundos de decantadores secundários.

2.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

Ao serem aplicados os processos de coagulação, floculação e sedimentação no tratamento de água alguns parâmetros são comumente analisados a fim de que se certifique que tais etapas estão sendo corretamente aplicadas bem como os tratamentos empregados durante tais procedimentos tenham seus comportamentos acompanhados o mais detalhadamente possível.

Os parâmetros físicos fornecem indicações preliminares da qualidade da água e definem as suas características relacionadas com visão, tato, sabor e odor. Os sólidos presentes na água são classificados de acordo com seu tamanho, podendo ser sólidos em suspensão, sólidos coloidais e sólidos dissolvidos, caracterizando assim os parâmetros turbidez, cor verdadeira e cor aparente (NOWACKI; RANGEL, 2014; VON SPERLING, 2007).

Parâmetros como turbidez e cor, apesar de não indicarem diretamente a contaminação da água, são métodos rápidos e eficazes de serem realizados e quanto mais elevados os seus valores, maior a probabilidade de haver algum agente contaminante, seja de natureza físico-química ou biológica.

O estudo de tais parâmetros é importante no controle de qualidade da água, pois, além de tratar-se de padrões de potabilidade, também são parâmetros operacionais para determinação das dosagens de produtos químicos a serem adicionados no tratamento.

Além disso, a maior eficácia da desinfecção da água, principalmente na inativação de vírus, está relacionada ao menor valor da turbidez da água que pode ser relacionado com uma maior qualidade da água (NOWACKI; RANGEL, 2014)

A condutividade elétrica, outro parâmetro físico-químico, está diretamente ligada à quantidade de sólidos totais presente no ambiente aquático e sua determinação é realizada através do condutivímetro.

Altos valores de condutividade elétrica podem atribuir à água características corrosivas. Esse parâmetro pode contribuir para a identificação de poluentes provenientes do lançamento de resíduos industriais e domésticos,

principalmente de fontes de poluição pontuais. Normalmente níveis acima de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ sinalizam a presença de poluentes (NOWACKI; RANGEL, 2014). Quanto maior a concentração de íons dissolvidos na água, maior será a sua condutividade elétrica (LIBÂNIO, 2010).

Os parâmetros químicos por sua vez estão relacionados com a capacidade solvente da água na presença de materiais orgânicos e/ou inorgânicos, logo ao analisá-los pode-se observar a indicação de uma possível contaminação.

Dentre os possíveis parâmetros químicos a serem analisados, o pH (Potencial Hidrogeniônico), de acordo com Von Sperling (2018), é considerado um dos mais relevantes durante o monitoramento das etapas do tratamento de água. Este corresponde à medida da relação entre a concentração de íons hidrogênio (H^+) e a concentração de íons hidroxila (OH^-) (NOWACKI; RANGEL, 2014).

A NBR 10.818/2016 determina que para o bom funcionamento de todos os mecanismos e reações em uma piscina o pH deve se encontrar em uma faixa restrita de 7,2 a 7,8 uma vez que exerce influência sobre todos os demais parâmetros (ABNT, 2016).

Outro parâmetro fundamental na coagulação é a alcalinidade, a qual consiste na capacidade de um sistema aquoso em neutralizar íons H^+ dispersos na água, conferindo assim capacidade tamponante ao sistema. A água pura a um $\text{pH} = 7$ tem naturalmente uma alcalinidade próxima a neutralidade, ou seja, mesmo com a adição de um ácido fraco o pH sofrerá uma alteração imediata, ao contrário de um sistema onde a alcalinidade é alta. Neste caso ao ser acrescentado um ácido fraco o pH, caso seja alterado, não sofrerá grande mudança pois os íons irão neutralizar o ácido (SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L, 1994).

O caráter alcalino em uma solução deve-se principalmente à presença de sais de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, mas silicatos, boratos, fosfato e amônia também conferem alcalinidade, porém de modo reduzido. A soma das alcalinidades originadas de tais sais quando somadas é a alcalinidade total (PIVELLI, 2006).

De acordo com o Manual de Tratamento em Piscinas Residenciais (GENCO, 2013), a alcalinidade ideal em piscinas é entre 80 e 120 ppm. Quando

abaixo de 10 ppm a água fica com baixa capacidade tamponante o que ocasiona problemas como água turva, tonalidade esverdeada, fácil opacidade, caráter corrosivo, alta variação no pH, ocasionando tanto aumento nas correções e no valor do tratamento quanto perda do efeito algicida do cloro.

Quando acima do valor ideal a alcalinidade também gera problemas como turbidez, opacidade, incrustações na tubulação e gastos elevados com produtos químicos na correção de pH e da própria alcalinidade (CORREA, et.al., 2019).

E quando se encontram desregulados, podem ser corrigidos através da aplicação do estabilizador de pH (quando abaixo do ideal) ou utilizando o redutor de pH e alcalinidade (quando acima do valor de referência).

Outro parâmetro importante é a dureza total, que corresponde a quantidade de carbonatos, bicarbonatos, sulfatos ou cloretos de cálcio e magnésio presentes na água. A dureza total é expressa em mg L^{-1} de CaCO_3 , e a água que a contém pode ser classificada em 4 tipos: branda ($< 50 \text{ mg L}^{-1}$ de CaCO_3); moderada (entre 50 e 150 mg L^{-1} de CaCO_3); dura (entre 150 e 300 mg L^{-1} de CaCO_3); e muito dura ($> 300 \text{ mg L}^{-1}$ de CaCO_3) (SAWYER, C.N. & McCARTY, P.L, 1994).

A dureza cálcica, parâmetro derivado da dureza total, é especificamente a concentração em ppm de sais de cálcio dissolvidos em meio aquoso. Quando tais íons se somam a alcalinidade e pH elevados ocorre a formação de compostos insolúveis que, em grande quantidade, ocasionam turbidez e incrustações calcárias na superfície da piscina e/ou no sistema hidráulico. A elevada dureza cálcica também diminui a eficiência da desinfecção. Já quando o parâmetro está baixo pode haver a corrosão de argamassa e demais produtos à base de cálcio.

Desta forma, recomenda-se que a concentração ideal da dureza cálcica em piscinas seja de 200 a 400 ppm, ao mesmo tempo que tanto o pH quanto alcalinidade encontram-se em faixas ideais (GENCO, 2010)

Uma etapa fundamental no tratamento de piscinas é a desinfecção, tal etapa pode ser realizada por diferentes métodos, sendo os mais comuns a ozonização e a cloração. Porém devido ao elevado gasto para se aplicar a ozonização, a utilização do cloro é mais empregada.

Ao ser aplicado na água de piscina, o cloro, ao reagir com a água forma o ácido hipocloroso (HOCl), que recebe o nome usual de cloro livre, este possui

por finalidade suprir a necessidade por cloro de substâncias orgânicas presentes na água, o conjunto de tais substâncias é denominado demanda de cloro. Quando o cloro livre supre toda a demanda de cloro da piscina a concentração restante é denominada “residual de cloro livre”.

A NBR 10.818/2016 determina que para uma piscina ter sua água considerada sanitariamente segura é necessário que a concentração de cloro esteja entre 0,8 e 3,0 mg L⁻¹ na piscina e a de residual de cloro livre esteja entre 2 a 4 ppm, tais valores asseguram que haverá a eliminação de possíveis microrganismos entre uma aplicação e outra (ABNT, 2016). Acima da faixa ideal o cloro pode tornar-se corrosivo causando danos à saúde (irritação em peles e mucosas) e à estrutura da piscina, danificando tubulações metálicas e estruturas de concreto.

Porém, determinados aspectos podem dificultar a cloração. Em casos onde não há tratamento por um elevado período, a piscina em questão tende a acumular microrganismos inativados e impurezas, e quando tais substâncias entram em contato com o cloro, ao invés de haver uma correta desinfecção a água da piscina pode tornar-se opaca e viscosa (CORREA, et. Al., 2019).

Há também casos onde o cloro aplicado na desinfecção reage com impurezas que contêm Nitrogênio amoniacal na composição, como é o caso de suor, urina, proteínas, aminoácidos e sais de amônia, e ao ocorrer a reação o cloro livre é consumido formando produtos indesejáveis como o cloro combinado, este apresentando forte odor e nenhum efeito desinfecionante (BRAGA, 2019).

Quanto aos parâmetros biológicos do controle da qualidade das águas estes fornecem a probabilidade de ocorrência de agentes causadores de doenças por meio de organismos indicadores de contaminação, como, por exemplo, o grupo dos coliformes (NOWACKI; RANGEL, 2014).

Os microrganismos do grupo coliforme, especificamente coliformes termotolerantes, são utilizados como indicadores biológicos de qualidade das águas e ajudam na investigação de fontes poluidoras de conteúdo fecal. Frequentemente determina-se a *Escherichia coli*, membro do grupo de coliformes fecais (RICHTER, 2009; VON SPERLING, 2018).

Por lei, não é permitida a presença de coliformes termotolerantes em água tanto para ingestão quanto para lazer, pois estas bactérias sugerem que há existência de contaminação fecal (PEZARINO, 2010).

Alguns problemas são enfrentados diante da utilização excessiva de produtos químicos na limpeza, pois ao serem aplicados de maneira incorreta ultrapassam a concentração ideal deixando residuais químicos na água (ANGERAMI, VIEIRA, STREFEZZI, 2007; PEREIRA, et al., 2014).

Os problemas mais comuns causados à saúde humana são a irritabilidade nas mucosas respiratórias, oral, esôfago, estômago e olhos. Ao entrar em contato com a pele podem ocasionar dermatite e ressecamento ou devido ao crescimento biológico, a transmissão de doenças infecciosas como conjuntivite, afecções de pele e infecções respiratórias através de bactérias e fungos presentes no ambiente (SALAZAR, IBARRA, MAYOR, 2008; BUTIÃO, 2011). Estudos ainda mostram que a exposição ao alumínio pode causar doença de Alzheimer (EGUCHI, ARANTEZ, 2019; CAMACHO-OVIEDO et al., 2020).

Nesse aspecto é importante a realização de um tratamento adequado em piscinas para que esta tenha qualidade ideal para o banho. Para tal usa-se diferentes produtos químicos para atingir a qualidade da água requerida, entre eles os coagulantes, sendo o mais utilizado o sulfato de alumínio.

2.4 TIPOS DE COAGULANTES

Atualmente, os coagulantes amplamente utilizados são os inorgânicos à base de ferro ou alumínio como, por exemplo, o sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato férrico (VAZ, 2009)

Ao serem inseridos na água os íons Al^{3+} e Fe^{3+} se dissociam reduzindo a repulsão hidrostática entre os coloides e ocasionam assim a coagulação. Concomitantemente tais íons reagem com hidroxilas presentes na água formando assim hidróxidos $Al(OH)_3$ e $Fe(OH)_3$, os quais são insolúveis e precipitam (BARBOSA, 2011; ALVES, 2015).

Porém, íons de ferro e alumínio são indesejáveis como residual tanto na água quanto no lodo gerado durante o tratamento, uma vez que tais íons podem comprometer a saúde humana (VERMA; DASH; BHUNIA, 2011).

O sulfato de alumínio é o coagulante químico mais utilizado no tratamento de água uma vez que o custo para sua obtenção é baixo e sua faixa de pH ideal de atuação é ampla, variando entre 5,5 e 8, tendo assim uma boa eficiência na coagulação (SANTANA; HAZ, 2018).

Porém, uma das desvantagens da utilização deste coagulante é a concentração de alumínio residual presente no lodo após realizado o tratamento, conferindo a este lodo toxicidade. Estudos indicam que tal coagulante químico pode trazer riscos à saúde dependendo da concentração em que for encontrado (MATOS et al, 2007; CARVALHO, 2008).

Blanco, Minhoni e Costa (2016) ao tratarem água de abastecimento com turbidez correspondente a 50 uT com solução de sulfato de alumínio na concentração de 15 mg.L⁻¹ obtiveram remoção de 50% da turbidez. Ainda no mesmo estudo, ao utilizarem solução coagulante a base de acácia negra (tanino) a uma concentração de 10 mg.L⁻¹ a remoção para o mesmo parâmetro foi de 83,9% indicando uma melhor remoção com o coagulante orgânico.

Eguchi e Arantes (2019) ao utilizarem solução coagulante de sulfato de alumínio em concentrações de 10 mgL⁻¹ a 50 mg.L⁻¹ no tratamento de água bruta superficial com baixos valores de turbidez e cor aparente, respectivamente 11 uT e 9 uC, obtiveram remoções superiores a 85% para ambos os parâmetros. No mesmo estudo, ao testarem solução coagulante a base de semente de *Moringa oleifera* obteve-se apenas 40% de remoção na turbidez. Os autores concluíram que não foi possível obter um melhor resultado para o coagulante orgânico devido, provavelmente, à pouca ativação da proteína responsável pela coagulação.

Porém apesar de sua grande eficiência no tratamento de água, alguns autores alertam que o emprego incorreto do coagulante inorgânico pode ocasionar doenças como, por exemplo, a demência, a fibrose pulmonar, a encefalopatia, a osteomalácia e a anemia (SILVA et al., 2020).

Apesar dos possíveis malefícios que o sulfato de alumínio pode causar ao usuário, ele ainda é amplamente empregado em piscinas devido ao seu baixo custo e fácil utilização. Todavia, é importante que haja tanto um monitoramento da concentração ideal a ser utilizada e um manuseio correto do produto (SILVA et al., 2020).

Para solucionar esse problema ou amenizar o uso de coagulantes químicos, pesquisas na área de coagulantes orgânicos têm crescido nos últimos anos (SILVEIRA, 2019; RODRIGUES, AQUINO, CORDEIRO & 2020).

Segundo Libânio (2010), coagulantes orgânicos são, de maneira geral, polieletrólitos de origem biológica originários de proteínas e polissacarídeos sendo classificados em catiônicos, aniônicos ou não-iônicos. A utilização dos coagulantes orgânicos vem sendo estudada em diversas áreas, isso porque tais coagulantes possuem baixo custo de produção, baixa toxicidade, simples utilização, fácil obtenção, além da diminuição da geração de lodo, sendo este orgânico e biodegradável (PIANTÁ, 2008; FERRARI, 2015; VERMA, DAH, BHUNIA, 2012).

Polímeros orgânicos são, comumente, empregados como coagulantes primários durante o tratamento. Alguns exemplos de coagulantes orgânicos estudados e muitas vezes empregados em determinados tratamentos são o tanino, a quitosana, a semente de *Moringa oleifera*, e alguns coagulantes sintetizados denominados polieletrólitos, os quais possuem grandes cadeias moleculares podendo ter cargas positivas ou negativas (MORAES et al, 2005, BONGIOVANI et al., 2010; FERRARI, 2015)

O Tanino é um polímero orgânico-catiônico de baixa massa molar. Tal coagulante orgânico não altera o pH da amostra, isto porque não consome alcalinidade quando disposto no meio a ser tratado. Sua maior efetividade está na faixa de pH entre 4,5 e 8,0 (DA SILVA, 1999; BARRADAS, 2004).

A quitosana ($C_6H_{11}O_4N$)_n consiste em um polissacarídeo do tipo amino linear, é composto por unidades de N-acetil-glicosamina e glicosamina, conectadas por ligações glicosídicas β (1-4). É o segundo composto orgânico mais abundante da terra. Devido à presença do grande número de grupos amino (NH_3^+) em sua estrutura, os quais podem interagir com coloides carregados negativamente. A quitosana se configura como um excelente floculante (RIBEIRO, 2019).

Cruz Et al. (2005) mencionam que o uso de coagulantes de origem natural contribui para a diminuição de residuais químicos no lodo residual deixados nos tratamentos onde coagulantes químicos como sais de alumínio e/ou ferro, são empregados.

Polímeros naturais podem se transformar em coagulantes catiônicos ou aniônicos dependendo do saldo de cargas elétricas no meio. Polímeros catiônicos geram lodo residual mais denso, o que facilita a desidratação e a disposição final deste material (DAVINO, 1996 apud BORBA, 2001; SANTOS FILHO & SANTA RITA, 2002).

Spinelli (2001) cita os polieletrólitos catiônicos como uma alternativa de coagulante natural a ser aplicado no tratamento de água sem que haja a necessidade de utilização de coagulantes primários, porém, em contrapartida, Borba (2001) relata que tais polieletrólitos aumentam a matéria orgânica no meio aquoso, e se caso não seja retirada pode vir a causar mau odor e sabor na água tratada.

2.4.1 *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera* (Figura 2a) é uma árvore originária do Norte da Índia, pertence à família Moringaceae, a qual é composta por um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies (BEZERRA, MOMENTÈ; MEDEIROS FILHO, et al., 2004 LEONE et al., 2015). É uma espécie decídua de pequeno porte de rápido crescimento que varia entre 5 a 12 m de altura e atinge em média 45 cm de diâmetro, adapta-se bem em condições áridas, semiáridas e em solos considerados pobres, assim suportando longos tempos de seca, além do mais não necessita de grandes cuidados (SANTANA; HAZ, 2018; RAJENDRAN; SUDESHRAJ; SURESHKUMAR, 2019).

FIGURA 2 – a) Árvore de *Moringa oleifera*, (b) vagens e (c) flores.

FONTE: O autor (2021).

A *Moringa oleifera* é a espécie mais cultivada e mais economicamente importante dentro da família Moringaceae e suas condições ideais de cultivo encontram-se entre 25°C e 35°C, solo com pH entre 5,0 e 9,0 e incidência direta de luz solar (OLSON, 2011; FAHEY, 2005; RAJENDRAN; SUDESHRAJ; SURESHKUMAR, 2019)

Atualmente é cultivada na África, América Central, América do Sul, Sri Lanka, México, Malásia, Indonésia e Filipinas, porém a Índia é, atualmente, a maior produtora mundial de *Moringa oleifera*, produzindo anualmente, em uma área de 38.000 ha, entre 1,1 e 1,3 milhões de toneladas de vagens (RAJENDRAN; SUDESHRAJ; SURESHKUMAR, 2019; CHRISTIANTO, SMARANDACHE, 2020).

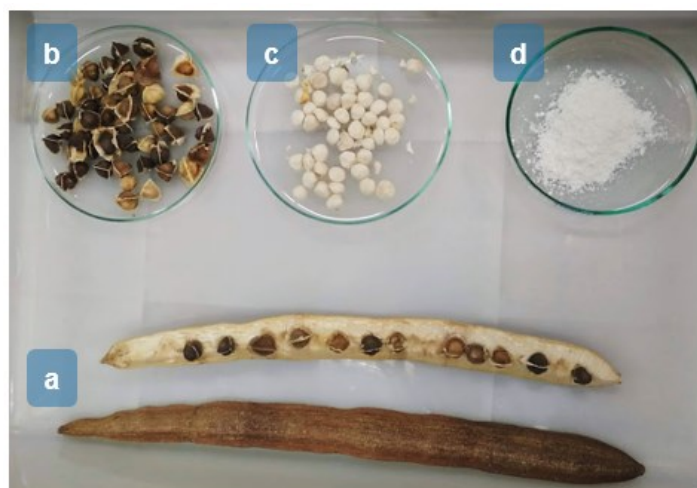
Alguns autores referem-se a essa planta com o termo “superfood”, tal espécie possui muitos benefícios nutricionais, assim é comum que países em desenvolvimento usem tal planta para combater a desnutrição em áreas mais precárias (RAJENDRAN; SUDESHRAJ; SURESHKUMAR, 2019; FAHEY, 2017; CHRISTIANTO, SMARANDACHE, 2020).

Estudos ainda apontam que a ingestão, principalmente das folhas e sementes, proporciona melhoras nos sintomas de doenças como artrite reumatóide, infertilidade, depressão, além de ter efeito diurético e regular a tireóide (CHUMARK, et al., 2008; BANJO, 2012; RAJENDRAN; SUDESHRAJ; SURESHKUMAR, 2019).

A *Moringa oleifera* também possui características que permitem possa ser utilizada para outras finalidades como, por exemplo: na indústria de cosméticos, na obtenção de biodiesel, no combate a doenças e principalmente, como coagulante (GASSENSCHIMIDT et al., 1995).

A estrutura da *Moringa oleifera* utilizada como coagulante é a semente (Figuras 3), a qual é constituída de 40% de proteína formada por peptídeos catiônicos, o que confere à semente a sua característica coagulante (GALLÃO et al., 2006; VIEIRA et al., 2010). Essa proteína possui alto peso molecular, 13 kDa, o que desestabiliza as partículas presentes em águas, assim estas, através do mecanismo de neutralização e adsorção, floculam e sedimentam os coloides (NDACIGENGESERE et al., 1995).

FIGURA 3 – Sementes de *Moringa oleifera* (a) no interior e (b) fora da vagem, (c) sem as cascas e (d) trituradas.



FONTE: O autor (2021).

Estudos sugerem que a semente de *Moringa oleifera* quando aplicada como coagulante em tratamento de água tem sua maior eficiência quando associada ao cloreto de sódio (NaCl). Na presença deste sal há uma maior solubilização da proteína da semente e consequentemente uma maior ativação desta como coagulante (OKUDA et al., 1999; MADRONA et al., 2012). Pritchard et al. (2010) também sugere que quanto maior for a turbidez da água a ser tratada maior será a remoção realizada pelo coagulante.

Silveira (2017) ao utilizar *Moringa oleifera* em solução líquida com 12 g de NaCl para tratar água de abastecimento com valor de turbidez de 139 NTU e cor

aparente de 427 mgPt.Co⁻¹ obteve eficiências de remoção para os respectivos parâmetros de 96,8% e 98,6%, respectivamente.

Silva (2017) ao utilizar solução salina de *Moringa oleifera* associada ao processo de filtração para o tratamento de água de abastecimento obteve eficiência de remoção de cor aparente e turbidez de 73,37% e 94,74%, respectivamente. Silva (2017) obteve também para o mesmo tratamento remoção de 99,72% de E. Coli.

Wending, Matias e Campos (2019) relatam estudos que obtiveram remoções acima de 85% de turbidez para diferentes processamentos de solução coagulante à base de *Moringa oleifera* no tratamento de água para abastecimento.

Para melhor entendimento e funcionamento das propriedades coagulantes da *Moringa oleifera*, a composição química da semente pode ser observada na Tabela 1 de acordo com Gallão *et al.* (2006) e Oliveira *et al.* (2009).

TABELA 1 – Análise química da composição em 100g de semente de *Moringa oleifera*

Composição	Quantidade (g)
Umidade	3,27~6,3
Carboidratos, dos quais:	17,6
Açúcares solúveis	3,14
Oligossacarídeos	3,31
Amido	6,02
Proteínas	25,2~39,3
Lipídeos	18,8~22,2

FONTE: Gallão *et al.* (2006), Oliveira, *et al.* (2009).

A princípio, por ser uma semente de caráter oleaginosa, tende a ser rica em óleo vegetal, proteína, fibras, sais minerais, enzimas e fitohormônios (CAVALCANTE, 2017). As proteínas da moringa são as responsáveis pela coagulação. Assim, a extração das proteínas da semente da *Moringa oleifera* pode ser vista como um caminho para aumentar o potencial coagulante e diminuir o lodo residual.

2.4.1.1 Proteína Mo-CBP

A proteína da semente de *Moringa oleifera* denomina-se “*Moringa oleifera* chitin-binding protein” (Mo-CBP) e pode ser separada em 5 diferentes compostos, sendo estes denominados Mo-CBP1, Mo-CBP2, Mo-CBP3, Mo-CBP4 e Mo-CBP5 (PINTO, 2012; BATISTA 2013).

A proteína Mo-CBP é uma glicoproteína composta por 2,5% de carboidratos contendo massa molecular de 12,4 kDa, ponto isoelétrico alcalino próximo a 10,6, múltiplas isoformas heterodiméricas constituídas por duas camadas polipeptídicas distintas unidas por pontes dissulfeto (FERREIRA et al, 2008; GIFONI et. al., 2012).

A menor cadeia possui massa molecular de 4,1 kDa e um resíduo de NH₂-terminal bloqueado enquanto que a maior cadeia, a qual possui massa molecular de 8,3 kDa, tem uma sequência de NH₂-terminal rica em resíduos de cisteína e glutamina (LOPES, 2016).

Pereira (2014), ao realizar testes de estabilidade com a proteína Mo-CBP₄ concluiu que ao ser convertida em pó, a proteína pode ser armazenada, à temperatura ambiente, por até 6 meses sem que perca características como, por exemplo: sua elevada capacidade de solubilização em água, a capacidade de ligar-se às quitinas e até mesmo suas atividades anti-inflamatórias e analgésicas.

Estudos também indicam que as proteínas Mo-CBP₃ e Mo-CBP₄ possuem atividades floculantes, comportamento relacionado ao elevado caráter catiônico de ambos os compostos, especialmente a grande quantidade de aminoácidos do tipo arginina, histidina e prolina em suas composições (GASSENCHIMIDT, et al., 1995; PEREIRA, 2014; LOPES, 2016).

Os aminoácidos em questão agem nas ligações eletrostáticas entre as cargas positivas da proteína e as cargas negativas de partículas presentes no meio aquoso como, por exemplo, argilas e bactérias, ocasionando atração, posterior aglomeração e formação de flocos (LOPES, 2016).

Presume-se que a proteína com características coagulantes extraída da semente de *Moringa oleifera* pode ter sua eficiência aumentada caso seja liberada de forma gradativa e constante na água. Assim, uma alternativa seria a utilização de um recipiente esférico e poroso para armazenar a proteína de forma que possa ser realizada sua liberação de forma gradativa e um material que atende tais requisitos é a cerâmica.

2.5 RECIPIENTE ESFÉRICO DE ARGILA

As cerâmicas são materiais naturais ou sintéticos que podem ser constituídos por metais e não-metais, em sua grande maioria por óxidos, nitretos e carbetos e têm por característica a porosidade, sendo esta, proporcional à pureza do material (CARTER; NORTON, 2007; DA COSTA, 2019).

As cerâmicas são divididas em três grandes grupos, sendo eles: a) cerâmicas tradicionais: de obtenção simples e de baixo custo que são utilizadas, por exemplo, na construção civil; b) cerâmicas avançadas, essas de obtenção complexa implicando em alto custo, tal tipo de cerâmica é utilizada em grande parte no setor de componentes eletrônicos; e c) biocerâmicas: utilizadas na área biológica (CALLISTER JR, 2013).

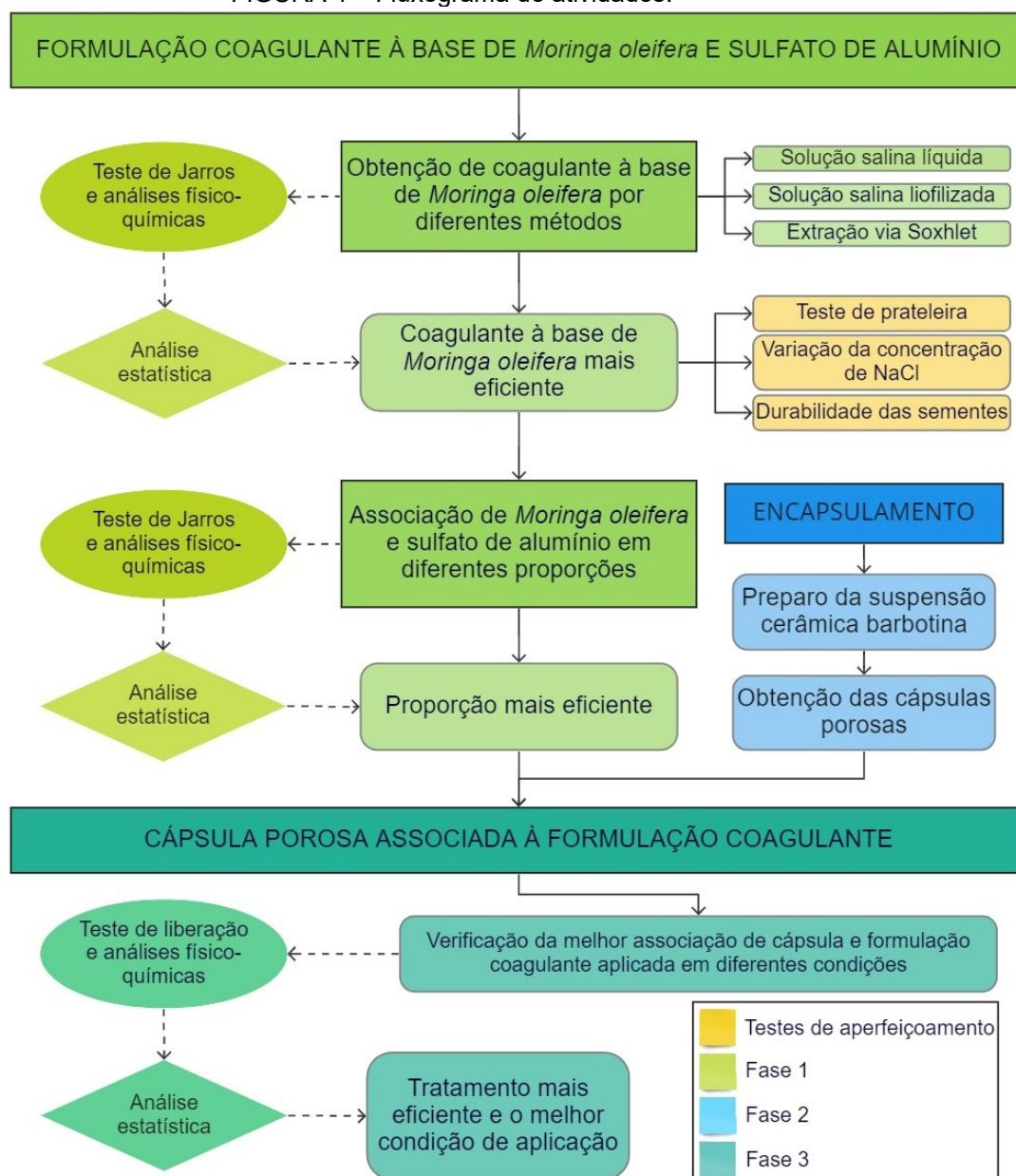
A barbotina, uma cerâmica tradicional, refere-se ao material de caráter líquido obtido a partir da mistura de argila com água. A escolha do tipo de argila a ser misturada com a água está diretamente relacionada ao produto final pretendido. Em situações onde o objetivo da utilização de uma barbotina é o preenchimento de moldes de gesso ou a produção de peças ocas a densidade e a viscosidade do material devem receber maior atenção (NICA, UFRGS, 2022).

A densidade indica a quantidade de sólidos que estão presentes na suspensão relacionando a massa do material com o volume de barbotina, desta forma, quanto maior a massa de argila em uma barbotina, maior será sua densidade. A viscosidade por sua vez corresponde à característica de fluidez da formulação cerâmica, assim observa-se a resistência do material ao escoamento (NICA, UFRGS, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

As metodologias empregadas no presente estudo seguem elencadas na Figura 4 disposta como fluxograma de atividades, sendo cada um dos itens abordados de modo detalhado nas seções subsequentes.

FIGURA 4 – Fluxograma de atividades.



FONTE: O autor (2021).

3.1 1ª FASE – MANIPULAÇÃO DAS SEMENTES DE *Moringa oleifera* PARA OBTENÇÃO DE FORMULAÇÃO COAGULANTE E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MAIS EFICIENTE POR MEIO DE TESTES FÍSICO-QUÍMICOS

3.1.1 Manipulação das sementes de *Moringa oleifera*

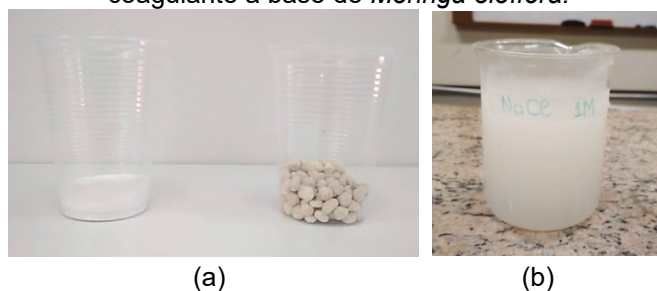
Visando otimizar o uso da semente de *Moringa oleifera* como coagulante orgânico e partindo do pressuposto que o agente coagulante contido na planta corresponde especialmente à proteína Mo-CBP presente na semente (ULLAH, et al, 2015; COSTA, et al, 2016), foram realizados nesta etapa três diferentes métodos de extração e ativação do agente, sendo estes: a elaboração da solução coagulante salina líquida, a liofilização e a extração da proteína via Soxhlet.

As sementes de *Moringa oleifera* utilizadas neste estudo foram colhidas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, onde também foram realizados todos os testes laboratoriais.

3.1.1.1 Solução coagulante salina líquida à base de *Moringa oleifera*

A solução coagulante salina líquida à base de semente de *Moringa oleifera* foi obtida a partir do processamento de 1L de água destilada, 1M de NaCl e 10g de semente sem casca (Figura 5a). Os componentes foram misturados em liquidificador doméstico até que não restassem partículas grosseiras. Posteriormente a solução obtida foi vertida em filtro de papel visando reter o excesso de material orgânico e partículas em suspensão, restando assim apenas a fração com o agente coagulante (Figura 5b) (ARANTES, C.; RIBEIRO, T.; PATERNIANI, J.; 2012).

Figura 5 – (a) Sementes de *Moringa oleifera* sem casca, NaCl e (b) solução coagulante a base de *Moringa oleifera*.



FONTE: O autor (2021).

3.1.1.2 Solução coagulante salina à base de *Moringa oleifera* submetida ao processo de liofilização

Para a obtenção da formulação coagulante liofilizada foi empregada uma solução elaborada igualmente a descrita anteriormente no item 2.1.1.1. A solução possuía volume de 1 L e este foi distribuído igualmente em 24 placas de petri, em seguida as amostras foram envoltas em plástico filme PVC conforme podem ser observadas na Figura 6. Posteriormente as amostras foram levadas ao congelador e permaneceram resfriadas por um período de 24 horas.

FIGURA 6 – Placas de petri envoltas em plástico filme PVC contendo solução salina líquida à base de *Moringa oleifera*



FONTE: O autor (2021).

Após o período de congelamento as amostras foram submetidas ao processo de liofilização utilizando o equipamento da marca Christ Lyophilizer e modelo Alpha 1-2 LDplus. Devido à capacidade do liofilizador frente a quantidade de amostras foi necessário realizar duas bateladas, cada uma contendo 12 placas. O local da análise foi o Laboratório Multiusuário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina.

Motivada pela elevada umidade das amostras, cada batelada de liofilização foi realizada em um período de 8 dias e ao final o aspecto das amostras estava como o exemplificado na Figura 7a.

FIGURA 7 – Amostras de solução salina à base de *Moringa oleifera* (a) após processo de liofilização e (b) após raspagem das placas.



FONTE: O autor (2021).

Ao término do processo o material liofilizado estava aderido às paredes internas das placas de petri e para retirá-lo foi necessário efetuar a raspagem com uma espátula. Desta forma, 1 L de solução líquida à base de *Moringa oleifera* resultou em aproximadamente 68g de um produto em pó e de coloração branca (Figura 7b). Para posterior utilização do coagulante liofilizado, armazenou-o em recipiente âmbar e ao abrigo de luz e umidade visando diminuir sua degradação.

3.1.1.3 Extração da proteína de *Moringa oleifera* utilizando Soxhlet

Previamente à extração da proteína presente na semente de *Moringa oleifera*, pesou-se 10g de semente sem a casca e triturou o material em um liquidificador doméstico até que apresentasse aspecto de pó. Conforme observado na Figura 8a. O material triturado foi separado em três porções e armazenado em sachês de papel filtro (Figura 8b). Tanto a trituração quanto a separação em sachês foram realizadas objetivando uma maior superfície de contato do material orgânico com o solvente n-hexano.

FIGURA 8 – Sementes de *Moringa oleifera* (a) trituradas e (b) acondicionadas em sachês de papel filtro.

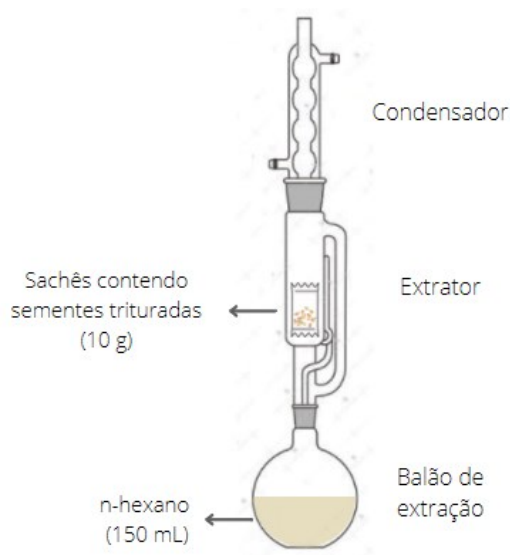


Fonte: O autor (2020).

Os sachês contendo as sementes trituradas foram transferidos para o extrator Soxhlet pertencente ao Laboratório K 008 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina.

Seguindo a metodologia descrita por Zhao & Dongke (2013), o balão de extração foi preenchido com 150 mL de n-hexano e aquecido em água a 85°C. O tempo total do processo de extração foi de aproximadamente 8 horas e a representação do aparato utilizado consta na Figura 9.

FIGURA 9 – Representação do extrator Soxhlet com amostras de *Moringa oleifera*



Fonte: O autor (2021).

Após a extração, o solvente foi removido da solução nas condições específicas de 50°C e pressão reduzida pelo evaporador rotativo modelo RE-52A da marca Toption (Figura 10).

FIGURA 10 – Extrator Soxhlet acoplado ao evaporador rotativo modelo RE-52A e marca Toption.



Fonte: O autor (2020).

Após a retirada do solvente foi possível determinar os valores de proteína presente nas sementes submetidas ao método. Os valores amostrados foram determinados e confeccionados por médias provenientes de três determinações após utilização do método BradFord.

3.1.1.4 Quantificação da proteína via método BradFord

Para a obtenção da porcentagem de proteína total contida nas sementes de *Moringa oleifera* empregou-se o método BradFord, por ser uma técnica espectroscópica rápida e precisa. Este método é baseado na interação do corante BG-250 (Coomassie Brilliant Blue) com as macromoléculas de proteínas que contém aminoácidos de cadeias laterais básicas ou aromáticas.

Desta forma, obteve-se a curva padrão e posteriormente quantificou-se a proteína presente no material extraído anteriormente via Soxhlet.

3.1.1.4.1 Curva padrão

Inicialmente adquiriu-se o reagente de BradFord adicionando 2 mg do corante BG-250 em um balão volumétrico de 50mL juntamente com 1mL de etanol 95% e 2mL de ácido fosfórico 85%, em seguida completou-se com água deionizada até o volume de 50mL.

Paralelamente foi preparado 200 μL de uma solução de BSA (albumina bovina sérica) em água destilada a uma concentração de 1 mg.mL^{-1} . A BSA corresponde a uma proteína sérica extraída de bovinos que ao reagir com o corante BG-250 possibilita a quantificação da proteína na amostra.

Partindo dessa solução, foram realizadas as diluições seriadas em água deionizada para obtenção das diferentes concentrações de BSA. Também foi realizada a obtenção do branco adicionando em um tubo água deionizada e o reagente de Bradford. Os volumes de todas as diluições, bem como do branco, estão dispostos na Tabela 2.

TABELA 2 – Volumes adicionados aos tubos para determinação da curva padrão para o método de Bradford

Tubos de ensaio	1	2	3	4	5	6
Água deionizada (μL)	100	90	80	70	60	50
BSA ¹ (μL)	0	10	20	30	40	50
BG-250 ² (μL)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Volume total	100	100	100	100	100	100

FONTE: O autor (2021)

LEGENDA: ¹ Albumina de Soro Bovino; ² Corante Coomassie Brilliant Blue.

Em seguida, fez-se uso do espectrofotômetro modelo DU 800 e marca Beckman para submeter as amostras ao ultravioleta em 595 nm para a elaboração da curva padrão e das diferentes concentrações de BSA. Assim, as concentrações de proteína para os diferentes volumes de BSA estão dispostos na Tabela 3.

TABELA 3 – Absorbância e concentração dos tubos na curva padrão

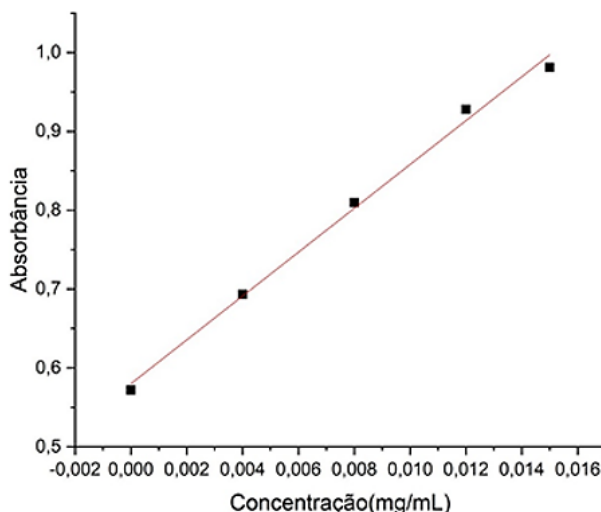
Tubo de ensaio	BSA¹ (μL)	Absorbância (nm)	Concentração (mg.mL^{-1})
1	0	0,572	0
2	10	0,693	0,004
3	20	0,810	0,008
4	30	0,928	0,012
5	40	0,981	0,015
6	50	1,02	0,019

FONTE: O autor (2021)

LEGENDA: ¹ Albumina de Soro Bovino

Tendo sido determinadas as concentrações de proteína para as diferentes absorbâncias foi possível plotar o gráfico resultando na curva padrão do teste de Bradford (Figura 11). Também foi possível determinar para os valores obtidos que a equação da Absorbância = $0,58 + 27,82x$ ($R = 0,99738$).

FIGURA 11 – Curva padrão para o método de Bradford



FONTE: O autor (2021).

Posterior à obtenção da curva padrão foi possível prosseguir com a análise da semente de *Moringa oleifera*, desta forma a amostra foi preparada adicionando em um tubo de microcentrífuga 10 μ L do produto extraído via Soxhlet, 790 μ L água deionizada e 200 μ L do reagente de Bradford. Procedeu-se a quantificação por meio da utilização do espectrofotômetro DU 800 – Beckman.

3.1.2 Água com turbidez sintética

Com o objetivo de aplicar as formulações coagulantes em água com turbidez padrão de aproximadamente 100 NTU optou-se por alcançar o valor de forma sintética utilizando a caulinita ($Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$), material este constituinte do caulim, um pó fino e de coloração branca. Para tal, a solução de caulinita foi obtida a partir da mistura de 100g de caulim com 6L de água destilada. Os componentes foram submetidos a agitação a uma rotação de 150 rpm durante 2h.

Em seguida a solução foi mantida em repouso por 15h. Ao término deste tempo o sobrenadante foi coletado e o sedimento depositado ao fundo descartado. Assim, a solução pronta de caulinita foi reservada em recipiente plástico e armazenada sob refrigeração para uso posterior.

Visando atingir a turbidez anteriormente descrita administrou-se 10mL da solução de caulinita para cada 1L de água potável.

3.1.3 Concentrações das formulações coagulantes

Partindo de adaptação ao estudo realizado por Lima (2018), que utilizou concentrações de 0,5 mL.L⁻¹ e 2 mL.L⁻¹ de extrato de *Moringa oleifera* liofilizada para clarificar suco de maçã com turbidez de 240 NTU, empregou-se nesta etapa a concentração de 1g.L⁻¹ de solução liofilizada. Como o coagulante liofilizado é resultado de uma solução com concentração de 10g.L⁻¹ de *Moringa oleifera*, a concentração liofilizada empregada possui aproximadamente 0,14 g de *Moringa oleifera*.

Para que se utilizasse a mesma concentração de semente (0,14g) ao testar a solução coagulante líquida e a derivada do método Soxhlet, foram ministradas amostras de 14,75 mL.L⁻¹ e 1 g.L⁻¹, respectivamente.

3.1.4 Ensaio físico-químico – Teste de Jarros

Após a elaboração das três formulações coagulantes à base de *Moringa oleifera* e determinação das suas respectivas concentrações foi necessário avaliar as eficiências quanto à clarificação da água. Deste modo, as formulações foram submetidas aos processos físico-químicos de coagulação, floculação e sedimentação realizados em equipamento jar-test da marca Nova Ética modelo JAR.217 (Figura 12).

FIGURA 12 – Equipamento Jar-Test da marca Nova Ética modelo JAR.217.



FONTE: O autor (2021).

De acordo com adaptações de Theodoro (2012), os jarros foram completados com água até sua marca de 2L e então, sob agitação rápida de 150 rpm foram administrados os coagulantes em suas concentrações previamente estabelecidas, assim realizou-se o processo de coagulação por 3 minutos. Posteriormente a rotação do equipamento foi reduzida para 15 rpm e permaneceu assim por 10 minutos, caracterizando o processo de floculação.

Por fim, o equipamento foi desligado e no mesmo instante se deu início ao processo de sedimentação. A partir deste momento o tempo de sedimentação começou a ser monitorado e foram coletadas amostras. Nesta etapa foram acompanhados os parâmetros pH, condutividade elétrica e turbidez de acordo com a metodologia APHA (2018) e também utilizando equipamentos e frequência de monitoramento descritos na Tabela 4.

TABELA 4 – Parâmetros monitorados na fase de teste das formulações à base de *Moringa oleifera* e suas respectivas especificações.

Parâmetro	Método/Metodologia	Equipamento (modelo/marca)	Frequência de Monitoramento
pH	Potenciométrico/ 4500-H ⁺ (*)	pHmetro MPA-210/ Tecnoyon	Nos tempos de 5, 10, 20 e 30
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Potenciométrico/ 2500 (*)	Orion 2-Star Benchtop/Thermo Scientific	minutos após o início da sedimentação
Turbidez (NTU)	Nefelométrico/ 2130 (*)	Turbidímetro Digital DLT-WV/ Del Lab	(t=0minutos)

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: *APHA (2018).

Os testes físico-químicos foram realizados em duplicata e posteriormente os dados amostrados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) fator único a uma significância de 5% e nos casos onde havia diferença significativa foi utilizado o teste de multivariância Scott-Knott para localizar entre quais interações tais diferenças encontravam-se.

3.1.5 Formulação coagulante orgânica associada ao sulfato de alumínio

Efetuada o teste de clarificação com as formulações à base de *Moringa oleifera* e realizadas as análises estatísticas foi possível determinar a formulação mais eficiente e que seria testada em outros cenários.

O primeiro cenário a ser estudado foi a associação do coagulante orgânico com o coagulante inorgânico sulfato de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), produto comumente empregado na limpeza de piscinas. A solução de sulfato de alumínio utilizada foi obtida a partir da homogeneização de 1g do sal com 1L de água destilada.

Assim, foram estabelecidos os tratamentos:

- B1) Solução salina líquida à base de sementes de *Moringa oleifera*;
- B2) Solução de sulfato de alumínio;
- B3) Solução orgânica mais eficiente do item 3.1.1 Manipulação das sementes de *Moringa oleifera*;
- B4) Solução orgânica mais eficiente do item 3.1.1 associada ao sulfato de alumínio nas proporções 10%, 20% (B5), 30% (B6), 40% (B7), 50% (B8), 60% (B9) e 70% (B10) de coagulante orgânico.

Primeiramente foi realizado um planejamento da concentração exata de cada coagulante empregada nos tratamentos, que pode ser observado na Tabela 5.

TABELA 5 – Concentrações dos coagulantes ministrados nos diferentes tratamentos.

Tratamento	Sulfato de alumínio associado à Solução de <i>Moringa oleifera</i>	Solução de <i>Moringa oleifera</i> líquida (mL.L⁻¹)	Solução de <i>Moringa oleifera</i> liofilizada (g.L⁻¹)	Solução de sulfato de alumínio (mL.L⁻¹)
B1	-	14,7	-	-
B2	-	-	-	14,70
B3	-	-	1	-

B4	10%	-	0,9	1,47
B5	20%	-	0,8	2,94
B6	30%	-	0,7	4,41
B7	40%	-	0,6	5,88
B8	50%	-	0,5	7,35
B9	60%	-	0,4	8,82
B10	70%	-	0,3	10,29

FONTE: O autor (2021).

Após definidos os tratamentos e as respectivas concentrações a serem testadas pode-se submetê-los ao teste de jarros de modo análogo ao exposto anteriormente no item 4.1.3.3. Nesta etapa foram monitorados os parâmetros temperatura, pH, condutividade elétrica e turbidez seguindo as especificações contidas na Tabela 6.

TABELA 6 – Parâmetros monitorados na fase de teste da formulação liofilizada à base de *Moringa oleifera* em associação ao sulfato de alumínio.

Parâmetro	Método	Metodologia	Equipamento (modelo/marca)	Frequência de Monitoramento
Temperatura (°C)	Termômetro	2555(*)	Orion 2-Star Benchtop/Thermo Scientific	
pH	Potenciométrico	4500-H ⁺ (*)	pHmetro MPA-210/ TecnoPON	Nos tempos de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 minutos após o início da sedimentação (t=0 minutos)
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	Potenciométrico	2500 (*)	Orion 2-Star Benchtop/Thermo Scientific	
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	2130(*)	Turbidímetro Digital DLT-WV/ Del Lab	

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: *APHA (2018).

Os tratamentos foram realizados em três repetições, caracterizando a triplicata, desta forma visando minimizar possíveis erros. Os dados aferidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) com significância de 5% para determinação de sua confiabilidade e para as comparações que indicaram diferença significativa, os dados correspondentes foram submetidos ao Teste de Scott-Knott.

3.2 2ª FASE – OBTENÇÃO DA CÁPSULA DE ARGILA POROSA E ASSOCIAÇÃO À FORMULAÇÃO COAGULANTE

3.2.1 Síntese de cerâmicas

3.2.1.1 Preparação da suspensão cerâmica barbotina

Para a preparação da barbotina foram utilizados 1kg de argila branca em pó, 380 mL de água destilada e 15 g de Silicato de Sódio (Na_2SiO_3). Os materiais foram inseridos em um recipiente plástico e foram levados para a mistura em moinho de bolas por 24 horas. (PINTO, et al., 2014)

3.2.1.2 Obtenção das cápsulas porosas

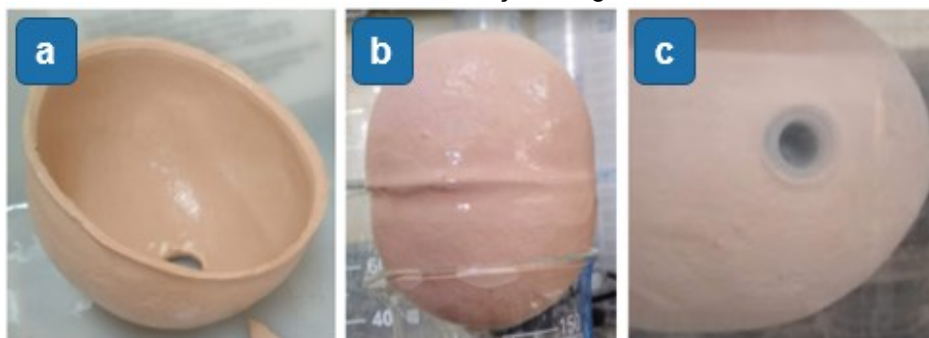
Para obtenção das cápsulas porosas foi necessário preparar previamente um molde de gesso bipartido, para tal foram misturados água e gesso na proporção de 50% cada material (%massa) e o material foi inserido em um recipiente plástico com dimensões de 18 cm de diâmetro com altura de 10 cm. Após a cura do gesso, foi retirada a bola e no molde ficou o formato de semiesfera sendo levado posteriormente para secagem por 5 dias.

Quanto à cápsula porosa à base de argila, a barbotina foi inserida dentro do molde de gesso e após obter a espessura desejada, o excedente foi vertido para um béquer. Depois da meia esfera ter secado dentro do molde, ela foi retirada e repetiu-se o processo para obter a outra meia esfera (Figura 13a).

Após obtenção das semiesferas de barbotina, as bordas foram umedecidas para ficarem plásticas e permitir a união das duas semiesferas (Figura 13b). Após secas, as esferas foram queimadas em forno resistivo mediante um aquecimento de $5^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ até 1050°C em um patamar de 2 horas.

Por fim, foi realizado um furo em cada cápsula (Figura 13c) para que fosse possível fazer a inclusão da formulação coagulante de sulfato de alumínio associado à *Moringa oleifera*.

FIGURA 13 – (a) Semiesfera; (b) Cápsula com as semiesferas coladas; e (c) Abertura para inclusão da formulação coagulante.

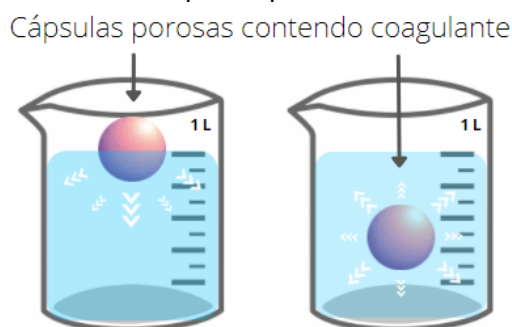


FONTE: O autor (2021).

3.2.2 Teste de liberação

Para o estudo da eficiência de liberação da formulação coagulante através dos poros das esferas de argila foi utilizado um processo de imersão em 1L de água com turbidez sintética de 100 NTU acrescida de modo análogo ao item 2.1.3.1 onde foi utilizada solução de caulinita. Deste modo, variou-se a posição da cápsula porosa quanto à coluna d'água deixando-a ora na superfície, ora totalmente submersa (Figura 14), visando assim compreender em qual situação a liberação e o processo de clarificação da água apresentavam os melhores resultados.

FIGURA 14 – Representação do teste de liberação das formulações coagulante inseridas nas cápsulas porosas



FONTE: O autor (2021).

Foram estipulados seis diferentes tratamentos a serem testados nesta etapa, sendo fixada a concentração da formulação coagulante de sulfato de alumínio e *Moringa oleifera* em 1 g.L^{-1} :

- C1) Cápsula porosa na superfície + Formulação coagulante em pó;
- C2) Cápsula porosa na superfície + Formulação coagulante diluída;

- C3) Cápsula porosa submersa + Formulação coagulante em pó;
 - C4) Cápsula porosa submersa + Formulação coagulante diluída;
 - C5) Formulação coagulante aplicada sem utilização de cápsula porosa;
- Branco: Sem aplicação de coagulante.

Devido à presença de poros e ao espaço vazio no interior da cápsula foi necessário realizar a adaptação de um suporte que mantivesse a esfera submersa durante todo o período de realização do teste (Figura 15).

FIGURA 15 – Teste de liberação das formulações coagulantes contidas no interior das cápsulas porosas.



FONTE: O autor (2021).

O teste de liberação teve duração de oito dias, sendo realizadas, diariamente, coletas a 5cm da superfície da água sendo estas submetidas a medições de pH, condutividade elétrica e turbidez. Em seguida foi realizada uma avaliação dos dados obtidos para que pudesse proceder o estudo utilizando a cápsula mais eficiente bem como sua posição na água (na superfície ou submersa).

TABELA 7 – Parâmetros, metodologias e frequência de monitoramento empregados durante o teste de liberação

Parâmetro	Método/Metodologia	Equipamento (modelo/marca)	Frequência de Monitoramento
pH	Potenciométrico/ 4500-H ⁺ (*)	pHmetro MPA-210/ Tecnopon	Uma vez ao dia durante 10 dias
Condutividade Elétrica (μS.cm ⁻¹)	Potenciométrico/ 2500 (*)	Orion 2-Star Benchtop/ Thermo Scientific	
Turbidez (NTU)	Nefelométrico/ 2130(*)	Turbidímetro Digital DLT-WV/ Del Lab	

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: *APHA (2018)

3.3 3ª FASE – TESTES FÍSICO-QUÍMICOS UTILIZANDO A CÁPSULA POROSA ASSOCIADA À FORMULAÇÃO COAGULANTE À BASE DE *Moringa oleifera* E SULFATO DE ALUMÍNIO

3.3.1 Formulação coagulante encapsulada

Após diferentes testes, obteve-se estatisticamente a combinação ideal entre a formulação coagulante mais eficiente, a cápsula porosa de melhor aplicabilidade e a profundidade mais eficaz para inseri-los na água, deste modo foi possível prosseguir para a fase dos testes de clarificação em maior escala.

3.3.2 Formulações coagulantes associadas às cápsulas de argila

Tendo constatado qual a formulação coagulante mais eficiente foi possível testá-la em dois diferentes modos, sendo eles: aplicação da formulação coagulante em pó; e aplicação da formulação coagulante aquosa. Nos casos onde a formulação precisava estar em estado líquido fez-se a diluição em 10 mL de água destilada.

A fim de avaliar se a movimentação do meio teria influência na eficiência do tratamento, também se variou a condição da água a ser clarificada, estando: I) inerte; ou II) sob agitação mecânica.

Realizando a interação entre os cenários descritos, chegou-se a quatro tratamentos a serem testados:

- D1) Formulação coagulante em pó aplicada em sistema sob agitação;
- D2) Formulação coagulante em pó aplicada em sistema inerte;
- D3) Formulação coagulante aquosa aplicada em sistema sob agitação; e
- D4) Formulação coagulante aquosa aplicada em sistema inerte.

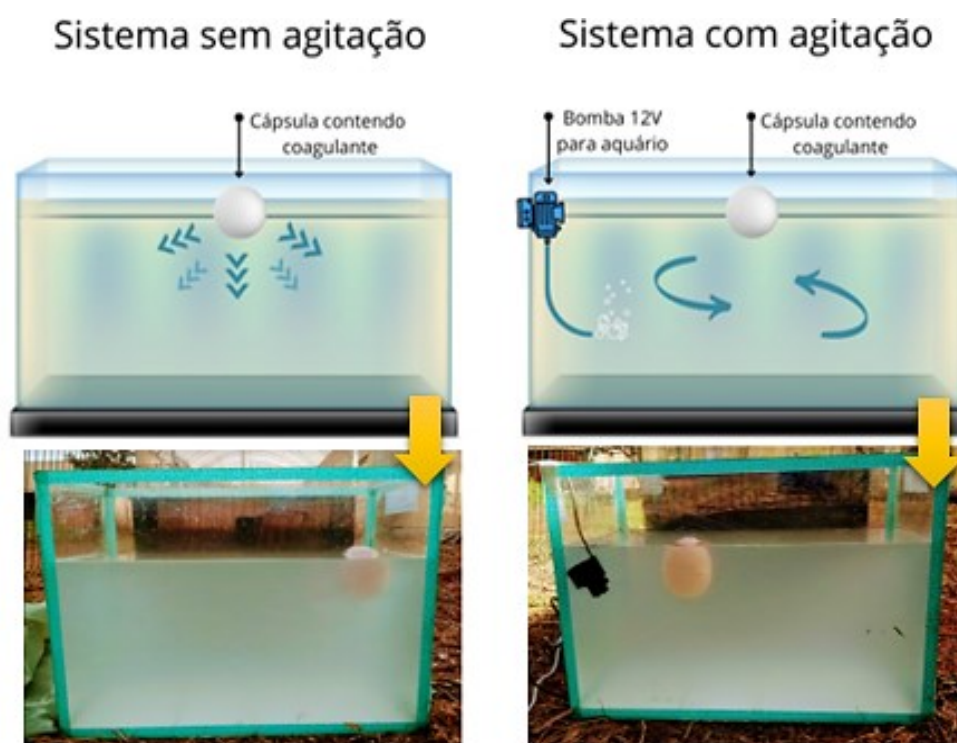
3.3.3 Teste de clarificação

Os testes de clarificação foram realizados em dois recipientes cada qual com capacidade aproximada de 40 L e dimensões de 35 cm de altura, 50 cm de largura e 25 cm de profundidade.

Cada recipiente foi preenchido com 30 L de água com turbidez sintética de 100 NTU e recebeu uma cápsula porosa contendo a formulação coagulante de sulfato de alumínio associado à *Moringa oleifera* nas condições especificadas anteriormente no item 3.2.2 Formulações coagulantes associadas às cápsulas de argila.

Nos cenários onde era necessário o sistema estar sob agitação foi utilizada uma bomba submersa de aquário 12V. Desta forma, o teste ocorreu conforme ilustrado no esquema da Figura 16.

FIGURA 16 – Representação do aparato utilizado para realizar o teste de liberação da formulação coagulante em meio inerte e em meio sob agitação.



FONTE: O autor (2021).

3.3.3.4 Parâmetros monitorados

Nesta etapa optou-se por acompanhar o comportamento dos parâmetros pH, condutividade elétrica, turbidez, acidez total, alcalinidade total e dureza total. Tais análises foram realizadas seguindo a metodologia, equipamento e frequência de monitoramento descrito abaixo na Tabela 8.

Dia 2 (horas)																
	25	25,25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31	31,5	32
T ¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
pH	x															
C.E. ²	x															
A.T. ³																
D.T. ⁴																
Dia 2 (horas)				Dia 3 (horas)												
	32,5	33	34	49	49,25	49,5	50	51	52	53	54	55	56	57	58	
T ¹	x	x	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
pH			x	x											x	
C.E. ²			x	x											x	
A.T. ³																
D.T. ⁴																
Dia 4 (horas)								Dia 5 (horas)								
	73	73,5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	97	97,5	98	99	100
T ¹	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
pH	x											x				x
C.E. ²	x											x	x			x
A.T. ³																x
D.T. ⁴																x

FONTE: O autor (2021)

LEGENDA: T: Turbidez (NTU); C.E.: Condutividade elétrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$); A.T.: Alcalinidade Total (ppm); S.T.: Dureza Total (ppm).

Os testes de libertação foram realizados em duplicata e os resultados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) fator único com significância de 5% e as interações que demonstraram algum grau de significância tiveram os valores submetidos ao Teste de Scott-Knott.

3.4 LEGISLAÇÃO

A fim de comparação dos dados obtidos nas análises serão utilizadas duas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo a primeira a NBR 10.818: Qualidade da água de piscina – Procedimento, publicada em 01 de novembro de 2016 (ABNT, 2016) possuindo como objetivo o estabelecimento dos requisitos mínimos para que a qualidade da água de piscina garanta sua utilização de maneira segura, sem causar prejuízo à saúde e ao bem-estar do usuário.

A segunda normativa, NBR 10.339: Piscina — Projeto, execução e manutenção (ABNT, 2019), tendo sua versão mais recente publicada em 25 de outubro de 2019 e objetivando estabelecer os requisitos e parâmetros para

projeto, construção, instalação e segurança no uso e operação aplicáveis a todos os tipos de piscinas.

3.5 TESTES OBSERVATIVOS

3.5.1 Utilização de sementes de *Moringa oleifera* colhida em anos distintos para obtenção da solução coagulante

A fim de averiguar se a eficiência coagulante da semente de *Moringa oleifera* mantém-se ao longo do tempo, foram utilizadas sementes colhidas nos anos 2014 e 2015 na Universidade de Campinas, e sementes colhidas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina, nos anos de 2019, 2020 e 2021 (Figura 17). Todas as sementes utilizadas foram conservadas sob refrigeração da colheita até o momento do uso.

FIGURA 17 – Sementes de *Moringa oleifera* com e sem cascas colhidas em 2021, 2020, 2019, 2015 e 2014



FONTE: O autor (2021).

Utilizando soluções coagulantes obtidas de modo análogo e descrito no item “3.1.1.1 Solução coagulante salina líquida à base de *Moringa oleifera*” foram realizados ensaios por meio do Teste de Jarros simulando os processos de coagulação (duração de 3 minutos a $2,51 \text{ s}^{-1}$), floculação (duração de 10 minutos a $0,251 \text{ s}^{-1}$) e sedimentação, onde, a rotação foi cessada e alíquotas foram amostradas nos tempos de 5, 10, 15, 20 e 30 minutos após o desligamento do aparelho.

A concentração das soluções utilizadas foi de 3mL.L^{-1} e todos os tratamentos foram testados em triplicata. As amostras coletadas nos tempos de

sedimentação previamente estabelecidos foram submetidas à análise de pH, temperatura, condutividade elétrica e turbidez.

Os dados obtidos através dos testes físico químicos foram analisados estatisticamente por meio da Análise de Variância (ANOVA) fator único com significância de 5%. Nos casos onde era indicada diferença significativa, os valores foram submetidos ao Teste de Scott-Knott também a uma significância de 5% por meio do software estatístico SISVAR.

3.5.2 Variação na concentração de NaCl na obtenção da solução coagulante salina à base de *Moringa oleifera*

Visando otimizar a utilização dos componentes da solução coagulante salina à base de *Moringa oleifera* propôs-se avaliar diferentes concentrações de cloreto de sódio na solução em questão. Também se objetivou averiguar se o agente coagulante da *Moringa oleifera* se comportaria de modo diferente diante desta variação do sal quanto a sua eficiência na clarificação da água.

Deste modo, para a obtenção da solução coagulante fixou-se o volume de 1 L de água destilada e 10g de semente de *Moringa oleifera* sem a casca e variou o NaCl em 1M; 1/1,5M; 1/2M; 1/3M; 1/4M; 1/5M; 1/6M; 1/10M; e 0M, desta forma resultando em 9 soluções coagulantes distintas.

Cada solução coagulante teve seus respectivos componentes processados em liquidificador doméstico, em seguida cada mistura obtida foi vertida em filtro de papel para retenção do excesso de material orgânico. Determinou-se que a concentração padrão a ser testada de todas as soluções obtidas seria de 3mL.L⁻¹.

O teste comparativo entre as soluções deu-se através do teste de jarros onde simulou-se o processo de coagulação por 3 minutos a uma rotação de 150 rpm, seguido da floculação por 10 minutos a 15 rpm e, por fim, a sedimentação onde desligou-se o equipamento jar test.

Nesta etapa monitorou-se os parâmetros de pH, condutividade elétrica e turbidez de acordo com as metodologias e frequência de monitoramento descritos na Tabela 10.

TABELA 10 - Parâmetros, metodologias e frequência de monitoramento do teste de variação de NaCl na obtenção de solução coagulante salina à base de *Moringa oleifera*

Parâmetro	Método/Metodologia	Equipamento (modelo/marca)	Frequência de Monitoramento
pH	Potenciométrico/ 4500-H ⁺ (*)	pHmetro MPA- 210/ Tecnopon	Nos tempos de 5min, 10min, 15min, 20min e 30min do processo de sedimentação
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	Potenciométrico/ 2500 (*)	Orion 2-Star Benchtop/ Thermo Scientific	
Turbidez (NTU)	Nefelométrico/ 2130(*)	Turbidímetro Digital DLT WV/Del Lab	

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: *APHA (2018)

Todos os tratamentos estipulados foram testados em triplicata e os dados amostrados foram submetidos ao teste de Análise de Variância (ANOVA) a uma significância de 5% e posteriormente, caso houvesse ocorrência de diferença significativa, os dados seriam submetidos ao teste de Scott-Knott.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

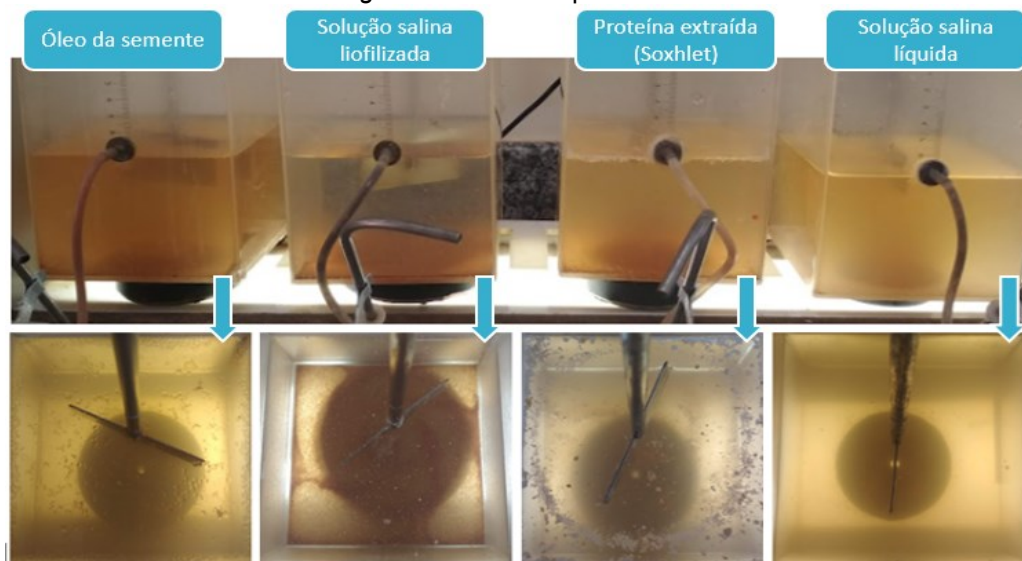
Os resultados obtidos durante o desenvolvimento do estudo seguem apresentados da seguinte forma: (4.1) tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* provenientes da liofilização, extração via soxhlet e processamento em liquidificador; (4.2) coleta de dados e análises realizadas a partir do teste com dez diferentes formulações coagulantes pré-estabelecidas no item 3.1.5.1 da seção “Material e Métodos”; (4.3) viabilidade do uso da cápsula porosa polimérica e seu comportamento quando associada às formulações coagulantes no tratamento de água sintética; (4.4) resultados referentes ao teste físico-químico em maior escala na utilização da cápsula porosa associada à formulação coagulante no tratamento de água sintética; (4.5) testes de aperfeiçoamento da formulação coagulante à base de *Moringa oleifera*.

4.1 1ª FASE – MANIPULAÇÃO DAS SEMENTES DE *Moringa oleifera* PARA OBTENÇÃO DE FORMULAÇÃO COAGULANTE E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MAIS EFICIENTE VIA TESTES FÍSICO-QUÍMICOS

4.1.1 Formulações coagulantes à base de *Moringa oleifera*

Após aplicação das concentrações coagulantes previamente estabelecidas no item 3.1.3 da seção “Material e Métodos” e realização do Teste de Jarros os resultados visuais podem ser observados na Figura 18, tanto sob vista frontal quanto superior para todos os tratamentos empregados.

FIGURA 18 – Resultado visual do Teste de Jarros realizado utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* obtida por diferentes métodos.



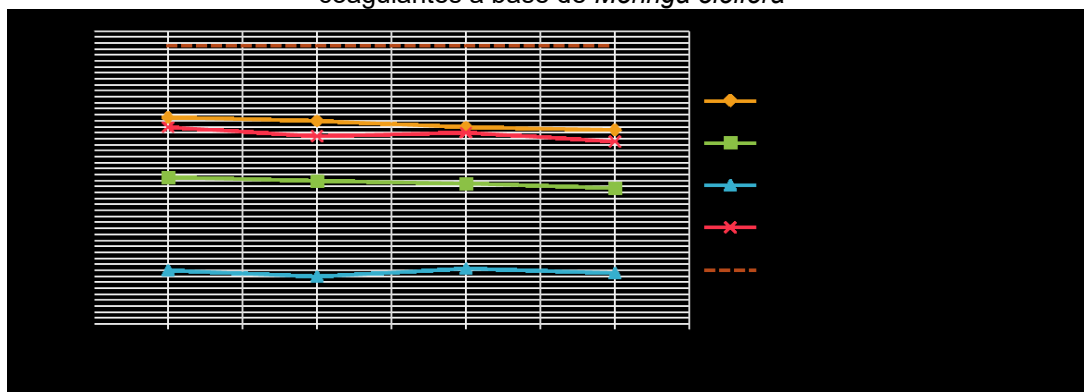
FONTE: O autor (2021).

Os dados e análises dos resultados obtidos após medição dos parâmetros pH e turbidez foram descritos nos itens subsequentes.

4.1.1.1 pH

Os valores médios do parâmetro pH aferidos para todos os tratamentos empregados bem como para quatro tempos de sedimentação estão dispostos na Figura 19.

FIGURA 19 - Valores médios de pH amostrados no Teste de Jarros referente às formulações coagulantes à base de *Moringa oleifera*



FONTE: O autor (2021).

Após análise dos resultados foi possível observar que o tratamento A1, onde utilizou-se apenas o óleo da semente da *Moringa oleifera*, apresentou a

menor variação quanto ao pH original da amostra (pH=8,4), seguido pelo tratamento onde a semente foi utilizada em solução salina líquida (A4). As variações de ambos os tratamentos correspondem a 0,56 e 0,64, respectivamente.

No tratamento A2, onde houve aplicação da solução salina liofilizada, o pH variou de 7,52 a 7,45, diminuindo 0,95 em relação ao valor do pH bruto. Por fim, quando se utilizou a proteína extraída da semente via Soxhlet (A3), o pH manteve-se próximo a 6,9 durante todo o ensaio, caracterizando, desta forma, o único tratamento com pH abaixo de 7,0 e também a maior redução em relação ao pH inicial da água, variação correspondente a 1,5.

O comportamento do tratamento A3 ocorre em função da proteína Mo-CBP presente na semente da *Moringa oleifera*, onde a qual possui pH ligeiramente ácido, desta forma, quanto maior a concentração de proteína, menor o pH observado. Javed *et al.* (2021) ao avaliar o pH de amostras com diferentes porcentagens de proteína de *Moringa oleifera* constatou que quanto maior sua concentração, menor o valor do pH.

Lima *et al.* (2015), ao administrarem soluções coagulantes de *Moringa oleifera* em concentrações que variaram de 129,5 mg.L⁻¹ a 270,5 mg.L⁻¹ em água bruta com pH correspondente a 8,11, obtiveram, ao final do tratamento, valores de pH entre 7,30 e 6,79.

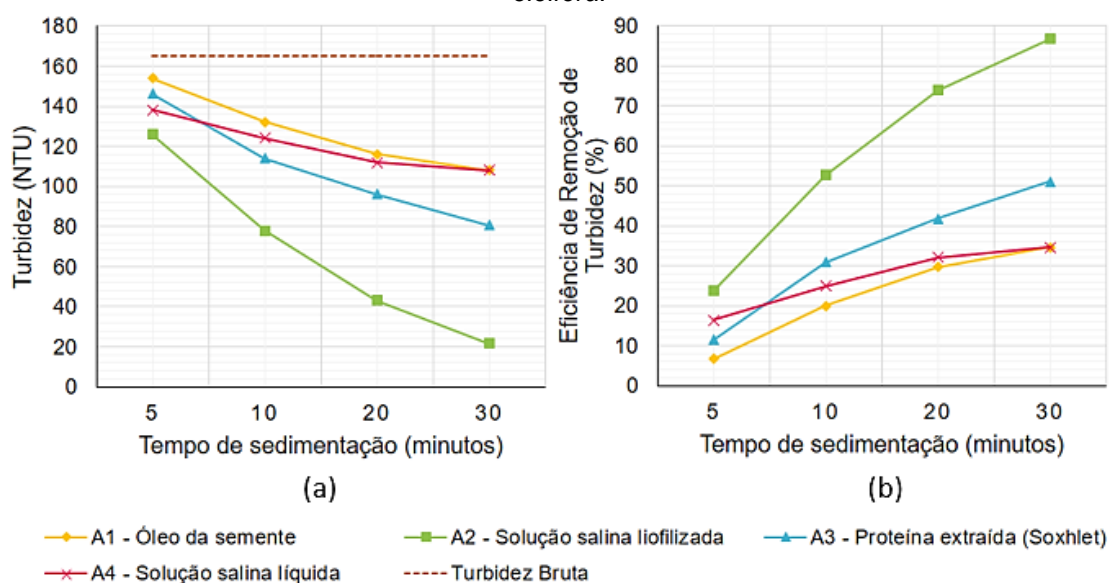
Silva *et al.* (2020), ao aplicarem extrato liofilizado de *Moringa oleifera* em concentrações de 24g.L⁻¹, 32g.L⁻¹, 36g.L⁻¹ e 48g.L⁻¹ para o tratamento de água com pH = 11,2 obtiveram uma redução do parâmetro para 9,9, 9,4, 9,1 e 8,8, respectivamente, indicando que uma alta concentração do extrato ocasiona maior queda no parâmetro.

De acordo com a NBR 10.818 – Qualidade da água de piscinas (ABNT, 2016) é desejável que o pH da água se mantenha entre 7,2 e 7,8 para que altere o mínimo possível outras características da água que posteriormente podem prejudicar o tratamento, características como, por exemplo, o cloro, que na presença de pH fora do intervalo citado, volatiliza mais facilmente, dificultando a higienização da água (SALGADO, 2008). Assim, apenas as soluções salinas líquida e liofilizada apresentaram valores em conformidade com a norma regulamentadora.

4.1.1.2 Turbidez

Os valores amostrados bem como os percentuais de eficiência na remoção de turbidez em relação ao valor inicial de 165 NTU encontram-se na Figura 20a e Figura 20b, respectivamente.

FIGURA 20 – (a) Valores médios de turbidez e (b) percentuais de eficiência de remoção amostrados no Teste de Jarros referente às formulações coagulantes à base de *Moringa oleifera*.



FONTE: O autor (2021).

De acordo com os valores amostrados verificou-se que na primeira análise (5 minutos de sedimentação) os tratamentos A1, A2, A3 e A4 apresentaram, de modo respectivo, valores de turbidez e eficiências de remoção de 154 NTU (7%), 126 NTU (24%), 146 NTU (12%) e 138 NTU (16%).

Ao decorrer da sedimentação todos os tratamentos aumentaram as eficiências e, aos 30 minutos, as formulações coagulantes A1 (óleo da semente) e A4 (solução salina líquida) finalizaram o ensaio com valor análogo de turbidez (108 NTU), equivalente a 35% de remoção em relação ao valor inicial de 165 NTU. Quanto ao tratamento A3, onde empregou-se a proteína da semente extraída por Soxhlet, notou-se um aumento expressivo na remoção de turbidez chegando a 31% (114 NTU), posteriormente a 42% (96 NTU) e, por fim, encerrando o ensaio com remoção de 51% (80,7 NTU).

O tratamento referente a solução liofilizada (A2) comportou-se como o mais eficiente durante toda a sedimentação. Aos 5 minutos apresentou

diminuição de 24% quanto à turbidez inicial, posteriormente a eficiência aumentou para 53%, superando já na segunda batelada de análises as remoções finais dos demais tratamentos. Aos 20 minutos a turbidez era de 43 NTU (74% de remoção) e ao final do ensaio o parâmetro atingiu valor de 21,8 NTU, correspondendo a aproximadamente, 87% de eficiência na remoção de turbidez.

Paterniani, Mantovani e Sant'Anna (2009) ao aplicarem concentrações de até 500 mg.L⁻¹ de *Moringa oleifera* em água com turbidez sintética de 105 NTU conseguiram obter uma eficiência na remoção do parâmetro de 92% após 30 minutos de sedimentação. Enquanto Siqueira *et al.* (2018), ao utilizarem solução salina líquida de *Moringa oleifera* em uma concentração de 5 mL.L⁻¹ em água com turbidez de 196 NTU obtiveram remoção de 80% após 30 minutos de sedimentação.

4.1.1.3 Considerações Parciais

Apesar de pesquisas indicarem que a proteína extraída da semente da *Moringa oleifera* é responsável pela coagulação na clarificação da água e também por se observar uma remoção de turbidez aproximada de 50% no presente estudo, notou-se que a formulação ocasionou queda expressiva no pH quando comparada às demais formulações, mantendo-se todo o ensaio próximo a 6,9. O pH da água em piscinas quando fora da faixa de 7,2 a 7,8 encontra-se em discordância com a NBR 10.818 de 2016, ademais a água com pH incorreto pode ocasionar danos à superfícies e equipamentos da instalação.

Em contrapartida, o tratamento onde utilizou-se a solução salina liofilizada à base de *Moringa oleifera* demonstrou um desempenho satisfatório quanto à remoção de turbidez (87%), e foi o único tratamento que manteve o pH em conformidade com a ABNT NBR 10.818 durante todo o ensaio. Desta forma, para a sequência do trabalho e próximas fases da pesquisa este foi considerado o mais adequado a ser utilizado.

4.1.2 Formulações coagulantes à base de *Moringa oleifera* associadas ao sulfato de alumínio

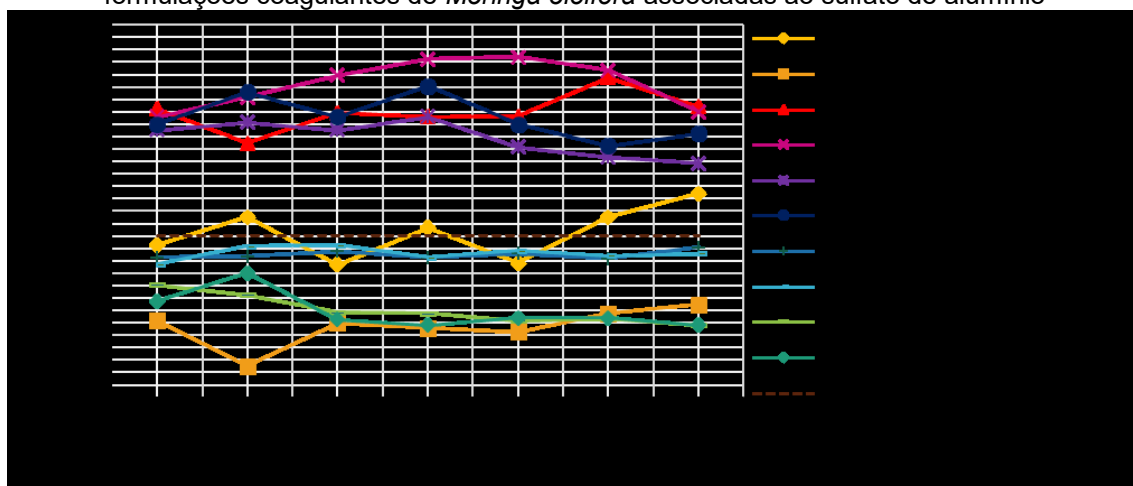
Foram testadas nesta etapa dez diferentes formulações coagulantes envolvendo: a) solução salina líquida à base de *Moringa oleifera*; b) solução salina liofilizada à base de *Moringa oleifera*; e c) solução coagulante à base de sulfato de alumínio. As concentrações foram previamente estipuladas no item 3.1.5.1 da seção “Material e Métodos”.

Isto posto, os tratamentos empregados foram: B1) Solução salina líquida à base de *Moringa oleifera*; B2) Solução de sulfato de alumínio; B3) Solução salina liofilizada à base de *Moringa oleifera*; e solução orgânica liofilizada associada à solução de sulfato de alumínio nas proporções: B4) 9:1; B5) 8:2; B6) 7:3; B7) 6:4; B8) 5:5; B9) 4:6; e B10) 3:7.

4.1.2.1 pH

O comportamento do pH ao longo da sedimentação e os valores médios amostrados em cada intervalo bem como para cada um dos tratamentos empregados estão dispostos graficamente na Figura 21.

FIGURA 21 – Valores médios de pH referentes ao tratamento físico-químico com diferentes formulações coagulantes de *Moringa oleifera* associadas ao sulfato de alumínio



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: AS: Sulfato de alumínio; SL: Solução orgânica liofilizada; [x:y] sendo x: proporção de solução orgânica liofilizada e y: proporção de solução de sulfato de alumínio.

Como observado, os valores de pH de todos os tratamentos se mantiveram entre 6,7 e 7,7. Os tratamentos que possuíam maior concentração

do coagulante inorgânico em sua composição tiveram os menores valores de pH durante o ensaio.

No tratamento onde empregou-se apenas o coagulante inorgânico (B2) a primeira análise de pH correspondeu a 6,8, indicando decaimento em relação ao pH bruto (7,12), em seguida diminuiu para 6,7 e encerrou o ensaio com pH 6,9. Outro tratamento que ocasionou queda no pH da água foi B10 (SL:AS [3:7]), neste tratamento o pH inicial foi de 6,9, tendo atingido 7,0 na segunda análise, mas decaindo novamente e encerrando o teste com pH 6,8.

Este comportamento do pH frente ao sulfato de alumínio era esperado uma vez que o coagulante inorgânico tem a capacidade de consumir hidroxilas (OH^-) presentes na água, consumindo a alcalinidade e conseqüentemente diminuindo o pH (CORAL, BERGAMASCO, BASSETTI, 2009).

Ao utilizarem o sulfato de alumínio para o tratamento de água, Silva e Oliveira (2021) também se depararam com a acidificação da água onde, após seis repetições, o pH teve diminuição média de 1,43, enquanto que para as mesmas amostras, quando tratadas com *Moringa oleifera*, o parâmetro teve uma variação de apenas 0,07. Santos *et al.* (2018) também se depararam com o mesmo comportamento de redução onde, ao variarem as concentrações de 10 mL.L^{-1} a 120 mL.L^{-1} da solução de sulfato de alumínio a 15%, o pH bruto médio de 7,07 reduziu para valores próximos a 4,0.

Quanto ao tratamento onde empregou-se a solução salina líquida à base de *Moringa oleifera* (B1) o pH mostrou-se oscilante em relação ao valor bruto, estando ora abaixo deste valor, ora acima. Desta forma, o pH da água onde se aplicou tal tratamento teve valor mínimo de 7,0 e máximo de 7,3.

Quatro tratamentos se destacaram na parte superior do gráfico, sendo todos os que continham a maior concentração *Moringa oleifera* liofilizada. Os tratamentos B3 (solução orgânica liofilizada) e B4 (SL:AS[9:1]), apesar de algumas oscilações durante a sedimentação, tiveram valores iniciais e finais de pH iguais a 7,5. Os tratamentos B5 e B6, que continham solução liofilizada associada ao sulfato de alumínio nas concentrações respectivas de 8:2 e 7:3, iniciaram com valores iguais a 7,5 e se comportaram de maneira semelhante ao decorrer do estudo finalizando o teste com valores de 7,4 (B5) e 7,5 (B6).

Os valores de pH amostrados durante todo o ensaio foram submetidos ao teste de variância (ANOVA) e ao teste de multivariância Scott-Knott, ambos a

uma significância de 5%, a fim de verificar se havia diferença significativa entre os valores. Os resultados da análise estatística encontram-se na Tabela 11.

TABELA 11 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para os dados de pH com diferentes formulações coagulantes de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio para todos os tempos de sedimentação.

Tratamentos	Tempos de sedimentação (minutos)						
	5	10	15	20	25	30	40
B1	7,09 b	7,18 b	7,02 b	7,14 c	7,03 c	7,18 c	7,26 b
B2	6,84 c	6,99 b	7,05 b	6,82 d	6,81 d	6,87 d	6,90 d
B3	7,53 a	7,42 a	7,51 a	7,50 b	7,50 b	7,63a	7,54 a
B4	7,50 a	7,56 a	7,63 a	7,69 a	7,69 a	7,65 a	7,52 a
B5	7,46 a	7,48 a	7,46 a	7,50 b	7,40 b	7,37 b	7,35 b
B6	7,48 a	7,58 a	7,50 a	7,60 a	7,48 b	7,41 b	7,45 a
B7	7,05 b	7,13 b	7,07 b	7,05 c	7,06 c	7,04 c	7,08 c
B8	7,03 b	7,08 b	7,09 b	7,05 c	7,07 c	7,05 c	7,06 c
B9	6,96 c	6,93 b	6,87 c	6,87d	6,84 d	6,85 d	6,83 d
B10	6,91 c	6,72 b	6,85 c	6,83 d	6,85 d	6,85 d	6,83 d

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística por Scott-Knott ($p < 0,05$); B1=Solução líquida de *Moringa oleifera*; B2=Solução de sulfato de alumínio (SA); B3=Solução de *Moringa oleifera* liofilizada (SL); B4= SL:SA [9:1]; B5= SL:SA [8:2] B6= SL:SA [7:3] B7= SL:SA [6:4] B8= SL:SA [5:5] B9= SL:SA [4:6] B10= SL:SA [3:7].

Com o teste de comparação múltipla realizado foi possível observar que a maior parte dos tratamentos apresentaram diferença significativa entre si. Porém, apesar da grande quantidade de diferenças significativas apontadas pelo teste de Scott-Knott salienta-se que as variações ocorreram em um intervalo de 1,0 na escala de pH, variando este de 6,7 a 7,7.

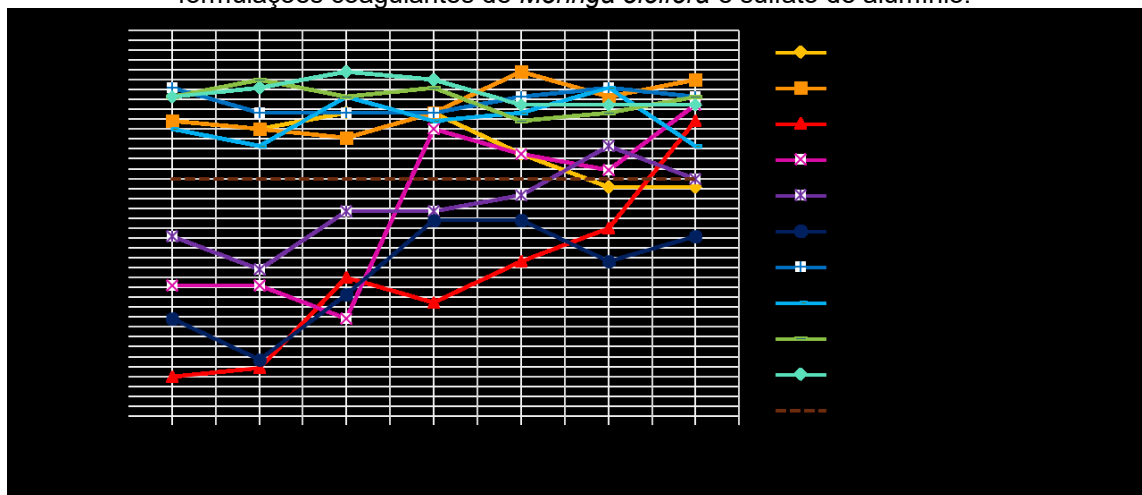
Balbinoti et al. (2018) ao aplicarem diferentes concentrações de *Moringa oleifera* (10mg.L^{-1} , 20mg.L^{-1} , 30mg.L^{-1} , 40mg.L^{-1} e 50mg.L^{-1}) no tratamento de água com pH inicial médio de 7,6 relataram não haver diferença significativa tanto entre os valores finais do tratamento quanto ao compararem tais valores ao pH inicial, indicando a não interferência do coagulante orgânico no parâmetro. Estudos ainda citam que extratos de *Moringa oleifera* não possuem a capacidade de alterar as concentrações de hidrogênios (H^+) e hidroxilas (OH^-) presentes na solução submetida ao tratamento (CARVALHO et al., 2016; CHOY et al., 2014).

Desta forma, as formulações coagulantes testadas nesta fase do estudo por apresentarem oscilações de +0,48 e -0,42 quanto ao pH bruto, ao serem aplicadas em água de piscina com pH ajustado entre 7,2 e 7,8, faixa estipulada pela NBR 10.818 (ABNT, 2016), ocasionariam pouca ou nenhuma interferência no parâmetro.

4.1.2.2 Temperatura

Os dados médios de temperatura obtidos a partir da realização de três ensaios estão dispostos na Figura 22.

FIGURA 22 – Temperatura média obtida durante o teste físico-químico com diferentes formulações coagulantes de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio.



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: AS: Sulfato de alumínio; SL: Solução orgânica liofilizada; [x:y] sendo x: proporção de solução orgânica liofilizada e y: proporção de solução de sulfato de alumínio.

De acordo com os valores médios contidos na Figura 22, a temperatura não sofreu alterações expressivas ao decorrer do ensaio em relação ao valor inicial da água (28,2°C). Como era esperado a água apenas sofreu interferência da temperatura ambiente, mantendo-se entre 27,4°C e 28,6°C.

Os tratamentos que foram testados no período matutino iniciaram o ensaio com valores mais baixos de temperatura em relação aos demais e aos 5 minutos de sedimentação foram aferidos valores médios de 27,4°C (B3), 27,7°C (B4), 27,9°C (B5) e 27,6°C (B6). Ao decorrer do ensaio a temperatura da água acompanhou o aumento da temperatura ambiente, desta forma, os mesmos

tratamentos citados encerraram o processo de sedimentação com temperaturas médias de 28,4°C (B3), 28,5°C (B4), 28,2°C (B5) e 28°C (B6).

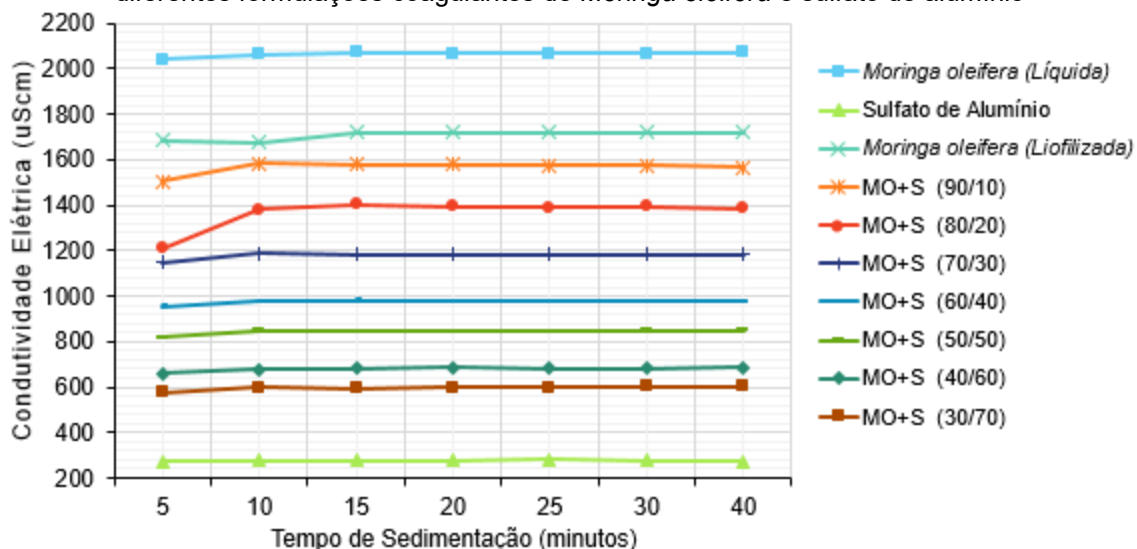
Os tratamentos testados no período vespertino mostraram maior estabilidade na temperatura ao decorrer do ensaio, uma vez que neste período do dia a temperatura da água sofre menores alterações devido a sua capacidade térmica. Assim, aos 5 minutos de sedimentação as temperaturas e os respectivos tratamentos eram de 28,4°C (B1), 28,4°C (B2), 28,6°C (B7), 28,4°C (B8), 28,4°C (B9) e 28,5°C (B10). Ao decorrer das análises e do tempo de sedimentação observou-se pequenas oscilações e os tratamentos encerraram o teste com temperaturas de 28,2°C (B1), 28,6°C (B2), 28,5°C (B7), 28,3°C (B8), 28,5°C (B9) e 28,5°C (B10), apresentando, para o último tempo de análise, uma amplitude térmica de apenas 0,6°C entre o maior (B2: 28,6°C) e menor valor (B6: 28,0°C).

Ribeiro (2010) demonstrou que a solução de *Moringa oleifera* ao ser aplicada no tratamento de água não influencia ou altera a temperatura do meio. A autora ainda concluiu que a solução coagulante orgânica atinge níveis de tratabilidade satisfatórios independente da temperatura da água a ser clarificada.

4.1.2.3 Condutividade elétrica

Os valores médios de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) verificados ao decorrer dos ensaios estão dispostos graficamente na Figura 23.

FIGURA 23 – Valores médios de condutividade elétrica referentes ao teste físico-químico com diferentes formulações coagulantes de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: AS: Sulfato de alumínio; SL: Solução orgânica liofilizada; [x:y] sendo x: proporção de solução orgânica liofilizada e y: proporção de solução de sulfato de alumínio.

O gráfico da Figura 23 demonstra que ao decorrer do processo de sedimentação os tratamentos mantiveram linearidade quanto ao parâmetro, em especial após a segunda análise onde é possível observar a estabilização dos valores médios.

A solução coagulante salina líquida (B1) retornou os maiores valores de condutividade elétrica durante todo o experimento, iniciando com $2039 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, elevando-se para $2063 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na segunda análise e mantendo-se próximo a este valor até o final do ensaio, onde, aos 40 minutos de sedimentação, apresentou valor final de $2072 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

O tratamento B3, onde foi empregado apenas a solução orgânica liofilizada, correspondeu ao segundo tratamento com maior condutividade elétrica do teste, iniciando com $1682 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, diminuindo para $1675 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ na segunda análise e estabilizando, a partir dos 15 minutos de sedimentação, próximo a $1720 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Águas com valores de condutividade elétrica entre $1600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $4800 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ são classificadas como salobras, ademais pontos de corpos d'água onde o parâmetro encontra-se acima de $2000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ são tidos como potencialmente contaminados por apresentarem valores análogos a efluentes (AGSOLVE, 2018).

Nota-se que, embora ambos tratamentos sejam obtidos a partir da mesma solução salina, o tratamento cuja solução foi submetida à liofilização reduziu em aproximadamente $300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a condutividade elétrica em relação ao tratamento onde a solução foi aplicada em sua forma originalmente líquida.

Também é possível observar na Figura 23 que quanto maior é a concentração da solução de *Moringa oleifera* no tratamento empregado, maior é o valor da condutividade elétrica. Este cenário foi observado do primeiro ao último tempo de sedimentação. Tal comportamento deve-se ao cloreto de sódio utilizado na obtenção da solução orgânica, desta forma, quanto maior a concentração utilizada da solução coagulante, maior a concentração do sal e consequentemente maior o valor da condutividade elétrica.

Assim, o tratamento B2, onde empregou-se apenas o coagulante inorgânico, foi o responsável por atingir os menores valores de condutividade elétrica do ensaio, apresentando $272 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ aos 5 minutos de sedimentação e ficando próximo a este valor nos tempos subsequentes até encerrar o ensaio com $273 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Os valores de condutividade elétrica aferidos foram submetidos às análises estatísticas ANOVA e Scott-Knott a uma significância de 5% e os resultados estão expressos na Tabela 13.

TABELA 12 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de condutividade elétrica com diferentes formulações coagulantes de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio

Tratamentos	Tempos de sedimentação (minutos)						
	5	10	15	20	25	30	40
B1	2039i	2063i	2071i	2068i	2069i	2069i	2072i
B2	272a	278 ^a	278a	278a	281a	276a	273a
B3	1682g	1675g	1719h	1718h	1719h	1720h	1720h
B4	1506g	1585g	1578g	1578g	1573g	1574g	1565g
B5	1207f	1381f	1403f	1396f	1389f	1393f	1387f
B6	1149e	1188e	1182e	1184e	1181e	1181e	1183e
B7	955d	978d	979d	977d	975d	974d	977d
B8	819d	847d	845d	844d	845d	847d	848d
B9	660c	679c	682c	685c	680c	683c	684c
B10	577b	597b	595b	598b	598b	603b	602b

FONTE: O autor (2021).

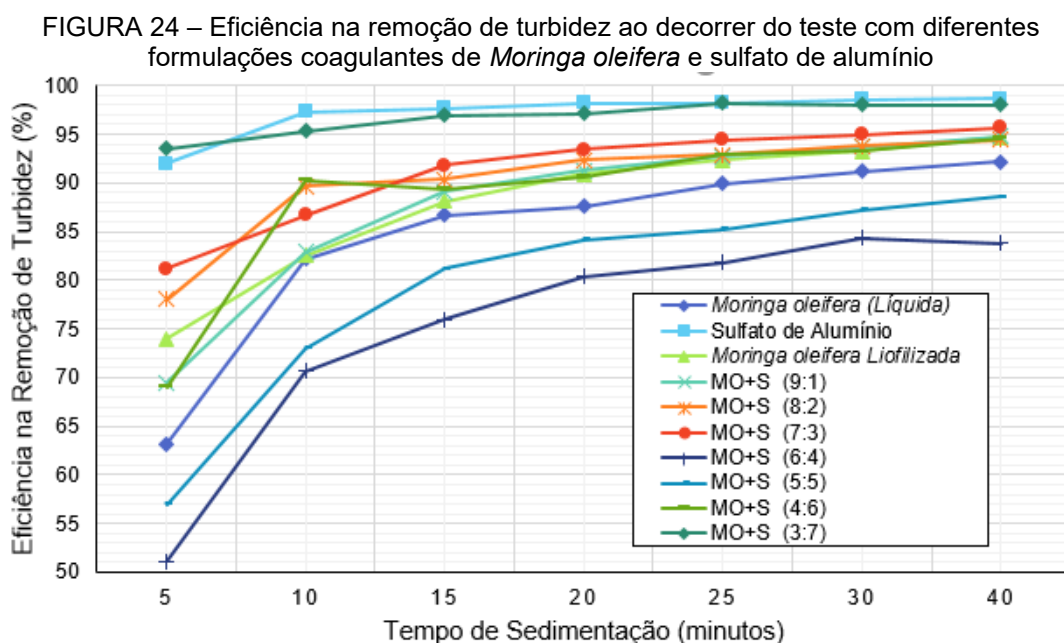
LEGENDA: letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística por Scott-Knott ($p < 0,05$); B1=Solução líquida de *Moringa oleifera*; B2=Solução de sulfato de alumínio (SA); B3=Solução de *Moringa oleifera* liofilizada (SL); B4= SL:SA [9:1]; B5= SL:SA [8:2] B6= SL:SA [7:3] B7= SL:SA [6:4] B8= SL:SA [5:5] B9= SL:SA [4:6] B10= SL:SA [3:7].

Após realizado o teste de multivariância comprovou-se a existência de diferença estatística entre os valores médios amostrados para cada um dos tratamentos ao decorrer do processo de sedimentação indicando a ação significativa do cloreto de sódio sobre a condutividade elétrica ao utilizá-lo na solução salina à base de *Moringa oleifera*.

4.1.2.4 Turbidez

Da mesma forma como foi realizada a amostragem dos parâmetros anteriores repetiu-se para a análise de turbidez, desta forma o parâmetro foi acompanhado durante 40 minutos de sedimentação.

Após a realização dos cálculos de eficiência de remoção de turbidez os valores percentuais obtidos para cada tratamento e tempo de sedimentação foram plotados no gráfico exposto na Figura 24.



FONTES: O autor (2021).

Nota-se na Figura 24 que aos 5 minutos de sedimentação todos os tratamentos empregados apresentavam eficiências na remoção de turbidez superiores a 50%. Também é possível observar a formação das curvas de eficiência ao decorrer dos 40 minutos de sedimentação, sendo caracterizadas por uma elevada diferença percentual entre os primeiros tempos, seguida de estabilização a partir dos 20 minutos de sedimentação.

Os tratamentos com as menores eficiências de remoção foram dois dos que possuíam proporções semelhantes de coagulante orgânico e coagulante inorgânico, sendo estes B7 (6:4) e B8 (5:5), indicando possivelmente que formulações com tal característica não sejam as melhores opções para o tratamento da água em questão. O tratamento B7 (6:4), embora tenha obtido as

menores eficiências, apresentou na primeira análise remoção de 51% e finalizou o experimento com 84%, resultando em água com turbidez final de 18,6 NTU.

O tratamento B1 (solução orgânica líquida), quando comparado ao desempenho da mesma solução, porém liofilizada (B3), demonstrou percentuais inferiores durante todo o ensaio. Aos 5 minutos de sedimentação as remoções correspondiam a 63% (B1) e 74% (B3) e, embora a diferença entre ambas tenha diminuído ao decorrer da sedimentação, encerraram o ensaio com percentuais de 92% (B1) e 95% (B3), equivalente à água com turbidez final de 16,17 NTU e 14,9 NTU, respectivamente.

Em estudos de aplicabilidade da *Moringa oleifera* como coagulante líquido para o tratamento de água, autores conseguiram obter uma eficiência de remoção de até 73% ao empregarem uma concentração de 25mg.L⁻¹ (MADRONA *et al.*, 2012). Santos *et al.* (2020), ao examinarem as eficiências na remoção de turbidez no tratamento de água utilizando a solução de *Moringa oleifera* aquosa e liofilizada obtiveram melhores resultados na aplicação do agente liofilizado, onde eficiência foi de 91,98%.

Nkurunziza *et al.* (2009) ao utilizarem *Moringa oleifera* para o tratamento de água com turbidez entre 50 e 450 NTU concluíram que mesmas concentrações de coagulante orgânico quando aplicadas em águas com valores de turbidez mais elevados retornavam um maior percentual de clarificação.

Quanto aos tratamentos onde as formulações possuíam proporções de coagulante orgânico e inorgânico de 9:1 (B4), 8:2 (B5), 7:3 (B6) e 4:6 (B9), foram observadas, aos 5 minutos de sedimentação, eficiências respectivas de 70%, 78%, 81% e 69%. Tais formulações finalizaram o ensaio com elevados e satisfatórios percentuais, sendo: 95% (9:1), 94% (8:2), 96% (7:3) e 95% (4:6), indicando que uma proporção distinta de coagulante orgânico e inorgânico pode ser uma melhor opção de tratamento nas faixas estudadas.

A formulação que possuía somente o coagulante inorgânico (B2) apresentou uma remoção de 92% aos 5 minutos de sedimentação, elevando-se para 97% (10 minutos), 98% (aos 15, 20 e 25 minutos) e por fim alcançando 99% aos 30 minutos de sedimentação e mantendo-se desta forma até a última análise. Diferente do tratamento orgânico, não apresentou a formação da curva de sedimentação, mas sim uma linearidade, mantendo a eficiência de remoção próxima a observada na primeira análise.

A característica de linearidade do tratamento B2 também foi observada no tratamento B10 (coagulante orgânico e inorgânico na proporção 3:7) mesmo havendo a diminuição de 30% do coagulante inorgânico na formulação. Desta forma, verificou-se elevada remoção de turbidez já na primeira análise (94%), aumentando para 95% na segunda análise, 97% nos 15 e 20 minutos de sedimentação e alcançando, por fim, 98% de remoção aos 25 minutos e mantendo-se nesta porcentagem até o encerramento do ensaio.

Valverde *et al.* (2018) ao associarem sulfato de alumínio à *Moringa oleifera* em diferentes proporções obtiveram maiores eficiências na remoção de turbidez à medida que a concentração de coagulante inorgânico na associação era maior. Desta forma, observaram redução de 65% na turbidez utilizando formulações que continham até 20% de *Moringa oleifera*, 70% nas formulações onde o coagulante orgânico encontrava-se entre 30% e 70% e remoções iguais ou superiores a 75% nas demais proporções.

Visando averiguar a existência de diferença significativa, os valores percentuais de remoção de turbidez foram submetidos à análise de variância ANOVA e ao Teste de Scott-Knott, ambos a uma significância de 5 %. Os resultados provenientes da análise estatística estão dispostos na Tabela 14.

TABELA 13 – Teste de Scott-Knott para percentuais de remoção de turbidez com diferentes formulações coagulantes de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio

Tratamentos	Tempos de sedimentação (minutos)						
	5	10	15	20	25	30	40
B1	63 Dc	82 Cc	87 Bb	87 Bd	90 Ac	91 Ab	92 Ac
B2	92 Ba	97 Aa	98 Aa	98 Aa	98Aa	98 Aa	99 Aa
B3	73 Cc	82 Bc	88 Ab	91 Ac	92 Ab	93 Ab	94 Ab
B4	69 Cc	83 Bc	89 Ab	91 Ac	92 Ab	94 Ab	95 Ab
B5	78 Bb	89 Ab	90 Ab	92 Ac	93 Ab	93 Ab	94 Ab
B6	81 Cb	86 Bc	92 Ab	94 Ab	94 Ab	95 Ab	95 Ab
B7	51 Ed	70 Dd	76 Cd	80 Bf	82 Be	84 Ad	83 Ae
B8	57 Dd	73 Cd	81 Bc	84 Be	85 Ad	87 Ac	88 Ad
B9	69 Bc	84 Ac	89 Ab	91 Ac	89 Ac	93 Ab	94 Ab
B10	93 Ca	95 Ba	97 Aa	97 Aa	98 Aa	98 Aa	98 Aa

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: A, B, ...: Diferentes letras maiúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre tempos de sedimentação do mesmo tratamento; a, b, ...: letras minúsculas diferentes nas colunas indicam diferença estatística por Scott-Knott ($p < 0,05$); B1=Solução líquida de *Moringa oleifera*; B2=Solução de sulfato de alumínio (SA); B3=Solução de *Moringa oleifera* liofilizada (SL); B4= SL:SA [9:1]; B5= SL:SA [8:2] B6= SL:SA [7:3] B7= SL:SA [6:4] B8= SL:SA [5:5] B9= SL:SA [4:6] B10= SL:SA [3:7].

Após análise estatística comprovou-se a existência de diferenças percentuais significativas quanto à remoção de turbidez entre vários tratamentos bem como entre diferentes tempos análise no mesmo tratamento.

Primeiramente, quando se analisa o comportamento individual dos tratamentos ao longo da sedimentação é possível observar o momento onde cada um atinge a estabilidade estatística. Desta forma, tem-se que os tratamentos B2 (sulfato de alumínio), B5 (8:2) e B9 (4:6) atingiram a estabilidade logo aos 10 minutos de sedimentação, sendo suas posteriores variações de eficiência tidas como não significativas.

Os tratamentos B3 (solução orgânica liofilizada), B4 (9:1), B6 (7:3), e B10 (3:7) tiveram aumento na eficiência de remoção de turbidez até os 15 minutos de sedimentação, nos tempos subsequentes tais eficiências se tornaram estatisticamente estáveis. Já o tratamento B1, onde utilizou-se apenas a solução orgânica líquida, e o tratamento B8 (5:5) atingiram a estabilidade aos 25 minutos de sedimentação e o tratamento B7 (6:4) apenas aos 30 minutos do processo.

Ao realizar o teste de variação múltipla dos tratamentos em relação ao tempo de sedimentação verificou-se que o tempo de análise estabelecido para a realização do ensaio foi satisfatório uma vez que foi suficiente para que todos os tratamentos atingissem a estabilidade.

Quando o teste de Scott-Knott foi aplicado considerando a diferença entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação, outros pontos puderam ser observados.

Na primeira análise identifica-se quatro diferentes grupos estatísticos (*a*, *b*, *c* e *d*) nos quais as eficiências de remoção de turbidez foram distribuídas. Assim, os tratamentos menos eficientes aos 5 minutos de sedimentação foram B7 (6:4) e B8 (5:5), sendo ambos iguais estatisticamente entre si e significativamente diferentes dos demais. Para esta primeira análise os tratamentos mais eficientes foram B2 (sulfato de alumínio) e B10 (3:7), considerados iguais entre si.

Ao decorrer do ensaio os valores de eficiência sofreram alterações e no último tempo de análise (40 minutos) o teste de Scott-Knott mostrou a existência de cinco grupos distintos (*a*, *b*, *c*, *d* e *e*). Deste modo, comprovou-se que os tratamentos menos eficientes foram B7 (6:4) seguido do tratamento B8 (5:5). Estes eram diferentes entre si e inferiores aos demais.

Ainda nesta última análise ressalta-se que o tratamento B1 (solução orgânica líquida) demonstrou ser o terceiro menos eficiente entre todos os tratamentos, apresentando diferença significativa quanto aos demais mesmo atingindo eficiência de 92%.

Os tratamentos B3 (solução orgânica liofilizada), B4 (9:1), B5 (8:2), B6 (7:3) e B9 (4:6) mostraram ser estatisticamente análogos, tendo estes alcançado remoções que variaram de 94,7% a 95,7%.

Por fim, os tratamentos B2 (sulfato de alumínio) e B10 (3:7) mostraram ser, não só visualmente, mas estatisticamente, os mais eficientes desta fase do estudo desde a primeira análise, onde já eram iguais entre si e superiores para com as demais formulações.

4.1.2.5 Considerações parciais

Após a realização dos ensaios físico-químicos, coleta e análise de dados constatou-se que a solução orgânica liofilizada atingiu remoções superiores quando comparada à solução orgânica líquida, reafirmando a maior eficiência demonstrada no item 4.1.1 da seção “Resultados e discussão”.

Também se conclui que, dentre os tratamentos contendo a *Moringa oleifera* como principal coagulante, os mais eficientes foram B3 (solução orgânica liofilizada), B4 (9:1), B5 (8:2) e B6 (7:3), sendo estes estatisticamente iguais quanto à remoção da turbidez. Tais tratamentos não interferiram de modo significativo no pH e na temperatura. Utilizando a condutividade elétrica como determinante na escolha do melhor tratamento, indica-se a utilização do tratamento B6 (7:3) responsável por menos elevar o parâmetro.

Os tratamentos utilizando o sulfato de alumínio em maior proporção na formulação coagulante corresponderam aos melhores resultados de modo geral. Deste modo, o tratamento B10, correspondente à formulação de solução salina

liofilizada à base de *Moringa oleifera* associada ao sulfato de alumínio em uma proporção de 3:7, apresentou estatisticamente a melhor eficiência na remoção de turbidez ao passo que não afetou de modo significativo o pH e a temperatura da água, diminuindo, assim, em 30% a utilização de coagulante inorgânico para a clarificação da água quando comparado ao tratamento apenas com coagulante inorgânico.

4.2 2ª FASE – FORMULAÇÃO COAGULANTE ASSOCIADA À CÁPSULA POROSA VISANDO DETERMINAR O MELHOR CENÁRIO PARA A CLARIFICAÇÃO DA ÁGUA DE PISCINA

Objetivando a liberação gradativa da formulação coagulante mais eficiente determinada no item anterior (4.1.2) foi necessário elaborar um recipiente que ao mesmo tempo acondicionasse o coagulante e tivesse estrutura para permitir sua liberação lenta e gradual. Desse modo, foram realizados testes de liberação e coagulação da formulação em cápsula polimérica porosa confeccionada a partir da cerâmica barbotina conforme descrito no item 3.4.2 da seção “Método e materiais”.

4.2.1 Teste de coagulação da cápsula porosa associada à formulação coagulante de sulfato de alumínio e *Moringa oleifera*

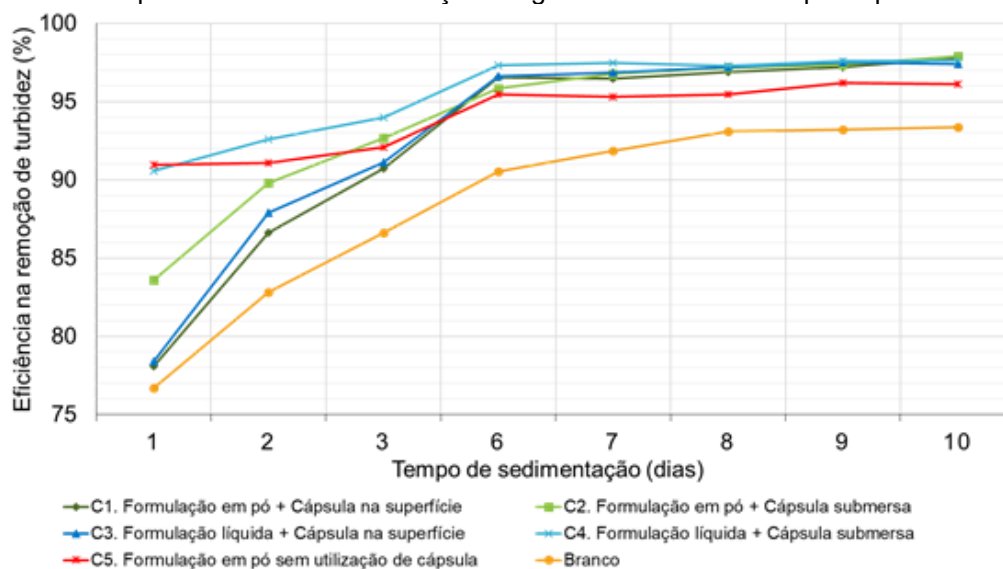
Nesta etapa foi utilizada a formulação de *Moringa oleifera* liofilizada associada ao sulfato de alumínio na proporção 3:7. Foram testados cenários variando o estado da formulação coagulante (pó ou líquida) e a profundidade da cápsula em meio aquoso, ficando ora submersa, ora na superfície. Foi realizada uma interação entre estas variáveis resultando em quatro tratamentos distintos, sendo:

- C1) Formulação em pó + cápsula na superfície;
- C2) Formulação em pó + cápsula submersa;
- C3) Formulação líquida + cápsula na superfície; e
- C4) Formulação líquida + cápsula submersa.

O acompanhamento dos tratamentos foi realizado ao longo de dez dias, onde efetuou-se análises diárias de turbidez. O monitoramento foi realizado em

duplicata e os valores médios foram relacionados com o valor inicial de turbidez da água a fim de que fosse possível exibir os dados em percentual de eficiência de redução do parâmetro. Desta forma, os percentuais calculados estão dispostos graficamente na Figura 25.

FIGURA 25 – Percentuais médios de eficiência na remoção de turbidez oriundos do teste físico-químico utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa.



FONTE: O autor (2021).

Nota-se que durante os dez dias de análise todos os tratamentos obtiveram percentuais de eficiência na remoção da turbidez acima do teste de controle, onde nenhum agente coagulante foi utilizado. Tal comportamento indica que todos os tratamentos testados possuem capacidade coagulante.

No primeiro dia de análise os tratamentos C4 e C5 apresentaram as eficiências de remoção mais elevadas, sendo 90,5% e 91%, respectivamente. Em contrapartida, os tratamentos onde a cápsula foi mantida na superfície (C1 e C3) iniciaram o teste com a menor eficiência, sendo esta de 78%. O tratamento C2, (formulação em pó em cápsula submersa) apresentou eficiência inicial de 83,5%.

No segundo e terceiro dia de ensaio todos os tratamentos, com exceção do C5 (formulação sem cápsula), apresentaram aumento na eficiência em relação à análise anterior indicando a formação de curvas de eficiência na remoção de turbidez. Desta forma, enquanto o teste de controle apresentou 87%

de redução na turbidez, as formulações coagulantes apresentaram eficiências de 91% (C1), 93% (C2), 91% (C3), 94% (C4), 92% (C5).

Isto posto, verifica-se que nos três primeiros dias de análise os tratamentos onde as cápsulas estavam submersas apresentaram remoções superiores em relação às esferas mantidas em superfície. Tal comportamento deve-se a maior área de contato da esfera submersa com a água.

Para o mesmo período outro comportamento observado indicou que as formulações líquidas apresentavam eficiências superiores quanto às formulações em pó associadas às cápsulas em posição análoga na coluna d'água. Desta forma C4 apresentou resultados mais satisfatórios que C2, e C3 mais satisfatórios que C1.

O sexto dia correspondeu à última análise onde observou-se maior aumento na eficiência de remoção em todos os tratamentos, indicando possível estabilização para com os dias subsequentes. Assim, do dia 6 ao dia 10 os tratamentos apresentaram remoções visualmente estáveis, desta forma, encerraram o ensaio com percentuais de 98% (C1), 98% (C2), 97% (C3), 98% (C4), 96% (C5) e 93% (Branco).

Os quatro tratamentos onde utilizou-se a cápsula porosa foram os mais eficientes do teste, atingindo remoções semelhantes. O tratamento C5, onde ministrou-se apenas a formulação coagulante sem o auxílio da cápsula porosa, teve uma eficiência inferior em relação aos demais. Por fim, no teste de controle, onde não foi aplicado agente clarificante, a turbidez foi reduzida em 93%.

Os percentuais referentes à eficiência na remoção de turbidez foram submetidos às análises estatísticas ANOVA e teste de Scott-Knott à uma significância de 5% e os resultados das interações estão dispostos na Tabela 15.

Tabela 14 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de eficiência de remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa

Tratamentos	Tempo de sedimentação (dias)							
	1	2	3	6	7	8	9	10
C1	78 Dc	87 Cc	91 Bb	97 Aa	96 Aa	97 Aa	97 Aa	98 Aa
C2	84 Db	90 Cb	93 Ba	96 Aa	97 Aa	97 Aa	97 Aa	98 Aa
C3	78 Dc	88 Cc	91 Ba	97 Aa	97 Aa	97 Aa	98 Aa	97 Aa
C4	91 Ca	93 Ba	94 Ba	97 Aa	97 Aa	97 Aa	98 Aa	98 Aa
C5	91 Ba	91 Bb	92 Ba	95 Aa	95 Aa	95 Ab	95 Ab	95 Ab

Branco	77 Dc	83 Cd	87 Bb	91 Ab	92 Ab	93 Ac	93 Ac	93 Ac
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: A, B, ...: Diferentes letras maiúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre mesmo tratamento ao decorrer da sedimentação; a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente. C1: Formulação em pó + cápsula na superfície; C2: Formulação em pó + cápsula submersa; C3: Formulação líquida + cápsula na superfície; C4: Formulação líquida + cápsula submersa; e C5: Formulação aplicada sem o auxílio de cápsula porosa.

Após realizada a análise de variância (ANOVA) e o Teste de Scott-Knott observa-se que, quando são avaliados os dados considerando o comportamento individual dos tratamentos ao decorrer da sedimentação, em todos eles não há variação estatisticamente significativa após o sexto dia.

Confrontando os percentuais de remoção dos tratamentos verificou-se que no primeiro dia os tratamentos se encontravam separados em quatro grupos estatísticos, indicando que os tratamentos C4 e C5 eram iguais entre si e mais eficientes que os demais, enquanto C2 era estatisticamente diferente de todos e, C1 e C3, onde as cápsulas estavam na superfície, caracterizaram o terceiro grupo mais eficiente. Por fim, o teste de controle apresentou redução da turbidez estatisticamente inferior em relação a todos os tratamentos.

No segundo dia, o tratamento C4 (formulação líquida em cápsula submersa) correspondeu ao mais eficiente, enquanto C1, C2, C3 e C5 apresentaram valores de remoção iguais entre si. O teste de controle apresentou percentual de redução estatisticamente inferior a todos os tratamentos.

No terceiro dia, o teste de Scott-Knott indicou a separação dos tratamentos em dois grupos estatísticos, sendo C2, C3, C4 e C5 iguais entre si e o teste branco igual ao tratamento C1 (formulação em pó e cápsula na superfície).

De acordo com a discussão anterior, a partir do sexto dia de análise pouca alteração estatística foi observada motivada pela estabilização nos percentuais de todos os tratamentos aplicados, desta forma tanto no sexto quanto no sétimo dia todos os tratamentos que continham agente coagulante apontaram eficiências análogas entre si e significativamente diferente quanto ao teste de controle.

No oitavo dia novos grupos estatísticos foram configurados, desta vez os tratamentos C1, C2, C3 e C4, onde as formulações coagulantes foram aplicadas com o auxílio da cápsula porosa, demonstraram ser estatisticamente

iguais entre si e superiores aos demais. O tratamento C5 teve uma elevada percentagem de remoção, porém o teste estatístico indicou que tal eficiência é diferente, tanto dos tratamentos citados anteriormente, quanto do teste branco. Por fim, o percentual referente ao teste de controle foi significativamente diferente dos demais tratamentos.

Assim, demonstrou-se de forma gráfica e estatística que os tratamentos que continham a formulação coagulante possuem, de fato, efeitos clarificantes, ademais, comprovou-se também que onde tais formulações foram associadas às cápsulas porosas houve aumento na remoção de turbidez indicando que a esfera porosa auxilia no processo de clarificação da água.

4.2.2 Considerações parciais

Objetivando determinar um tratamento coagulante que clarificasse a água e conservasse a baixa turbidez por um longo período de tempo as formulações coagulantes testadas associadas às cápsulas porosas mostraram atender tais requisitos, pois obtiveram remoções de turbidez estatisticamente superiores em relação ao tratamento onde aplicou-se apenas a formulação coagulante sem o auxílio de cápsula.

Dentre as associações submetidas ao teste físico-químico objetivou-se a designação daquela que apresentasse uma liberação lenta e gradativa ao passo que preservasse as propriedades coagulantes da formulação por mais tempo. Um outro fator fundamental para a escolha da melhor associação foi a facilidade de manuseio e a aplicabilidade na água. Assim, devido ao empuxo ocasionado pelo espaço vazio no interior da esfera, a permanência da cápsula submersa é mais trabalhosa.

Considerando tais fatores e, sobretudo, as elevadas porcentagens de remoção de turbidez prosseguiu-se para a fase seguinte com os tratamentos onde a cápsula manteve-se na superfície, sendo eles C1: Formulação em pó + cápsula na superfície e C3: Formulação líquida + cápsula na superfície.

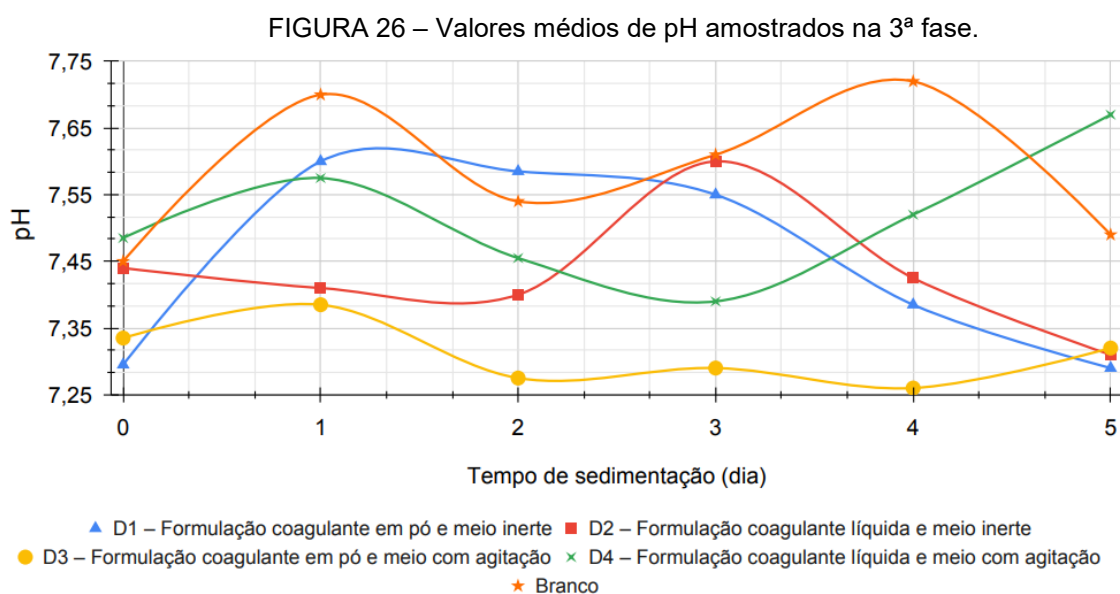
4.3 3ª FASE – TESTES FÍSICO-QUÍMICOS UTILIZANDO A CÁPSULA POROSA ASSOCIADA À FORMULAÇÃO COAGULANTE À BASE DE *Moringa oleifera* E SULFATO DE ALUMÍNIO NA PROPORÇÃO 3:7

Nesta fase do estudo foram realizados testes com os melhores tratamentos do item 4.2, sendo estes a formulação coagulante em pó e a formulação coagulante líquida, ambos associados à cápsula porosa mantida na superfície. Para esta etapa a variável “agitação” foi considerada no teste. Desta forma, fez-se a interação das variáveis e foram testados quatro tratamentos:

- D1 – Formulação coagulante em pó e meio inerte;
- D2 – Formulação coagulante líquida e meio inerte;
- D3 – Formulação coagulante em pó e meio com agitação;
- D4 – Formulação coagulante líquida e meio com agitação.

4.3.1 pH

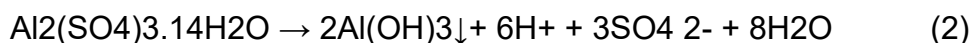
Na Figura 26 encontram-se os valores médios de pH monitorados diariamente em todos os tratamentos e também na amostra de controle.



Após a amostragem e plotagem dos valores médios de pH foi possível observar que nenhum dos tratamentos causou grande interferência no parâmetro em questão, desta forma, durante todo o período de análise, os valores se mantiveram entre a faixa de 7,2 a 7,8, precisamente o intervalo de pH determinado pela NBR 10.818 – Qualidade da água de piscinas – Procedimentos (ABNT, 2016).

Desta forma, caso a água da piscina a ser tratada esteja com o pH dentro do intervalo determinado pela norma regulamentadora, a aplicação da formulação de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio associada à cápsula porosa não irá interferir e/ou alterar o parâmetro.

Andrade (2021), ao avaliar o consumo de alcalinidade no tratamento de água utilizando diferentes concentrações de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio observou que enquanto o coagulante orgânico não alterou o parâmetro, o coagulante inorgânico o diminuiu em até 1,0. Este comportamento ocorre, pois, a utilização do sulfato de alumínio como coagulante consome alcalinidade do meio, uma vez que o sal libera íons H⁺, reduzindo o pH conforme mostrado na Equação 2 (BRATBY, 2016).



No tratamento de piscinas, onde objetiva-se a clarificação da água, o problema na alteração no pH em decorrência da aplicação do sulfato de alumínio é frequente, implicando na utilização de um produto químico adicional que retorne o pH para a sua faixa ideal. Dessa forma, a utilização de uma formulação clarificante nas proporções de 30%/70% de coagulante orgânico e inorgânico torna-se uma alternativa vantajosa.

A fim de averiguar a existência de diferença significativa entre os valores amostrados, os dados de pH foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) com 5% de significância, e os resultados estão dispostos abaixo na Tabela 16.

TABELA 15 - Análise de Variância (ANOVA) à 5% de significância para valores de pH amostrados na 3ª fase.

Fonte da variação	SQ	L	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,21264	4	0,05316	1,0052	0,4835	5,19216
Dentro dos grupos	0,2644	5	0,05288			
Total	0,47704	9				

FONTE: O autor (2021).

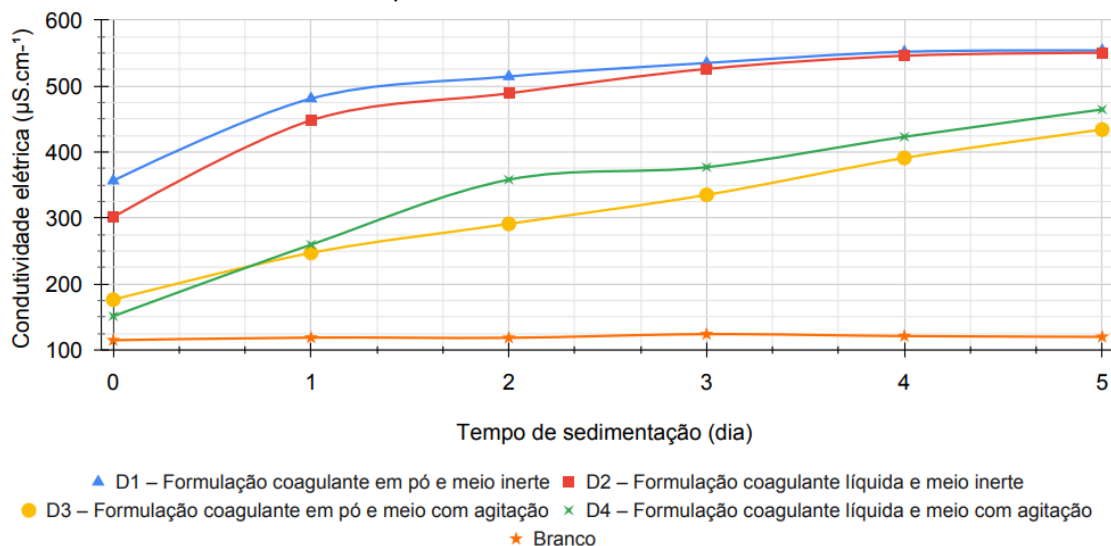
LEGENDA: SQ: L: MQ: F:

Após análise verificou-se que valor (p) corresponde a 0,483557, como consequência não houve necessidade de realizar o teste de Scott-Knott e foi comprovada a inexistência de diferença significativa entre os valores finais de pH entre os tratamentos testados nesta terceira fase da pesquisa.

4.3.2 Condutividade elétrica

Os dados médios de condutividade elétrica medidos ao decorrer dos cinco dias de análises foram plotados no gráfico contido na Figura 27.

FIGURA 27 – Dados médios de condutividade elétrica aferidos ao decorrer do teste físico-químico realizado na 3ª fase.



FONTE: O autor (2021).

Foi possível observar que os tratamentos D3 e D4, testados em meio sob agitação, tiveram inicialmente uma baixa liberação do cloreto de sódio contido na formulação e, por consequência, baixos valores iniciais de condutividade elétrica, sendo estes de $176 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (D3) e $150 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (D4). Ao decorrer do período de análise, a condutividade elétrica para ambos os tratamentos apresentou um aumento contínuo, de modo que o tratamento com formulação em pó (D3) encerrou o teste com $391 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, enquanto a formulação líquida (D4) apresentou valor final de condutividade elétrica correspondente a $423 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

O aumento gradativo na condutividade elétrica observado nos tratamentos D3 e D4 é, possivelmente, um indicativo que a liberação da formulação coagulante contida no interior da cápsula foi realizada de forma lenta e gradual.

Em contrapartida, nos casos onde as formulações foram aplicadas em meio inerte, notou-se que nas primeiras 24 horas de ensaio a formulação em pó

(D1) havia atingido $356,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e a formulação líquida (D2) $301,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. No segundo dia de análise ambas as formulações tiveram aumento expressivo no parâmetro apresentando valores de $481 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (D1) e $448 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (D2), valores estes superiores aos expressos ao final dos tratamentos D3 e D4.

No terceiro e quarto dia de ensaio os tratamentos D1 e D2 prosseguiram aumentando a condutividade elétrica na água, porém de forma mais moderada. Ao término do período de análises os tratamentos D1 (formulação em pó) e D2 (formulação líquida) haviam atribuído à água valores de condutividade elétrica correspondentes a $552 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (D1) e $547 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (D2).

Apesar dos elevados valores de condutividade elétrica obtidos em relação ao teste de controle, águas onde o parâmetro encontra-se entre $30 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $1500 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ são classificadas como águas potáveis (SEHN, 2016).

Os dados de condutividade elétrica coletados ao decorrer do ensaio foram submetidos às análises estatísticas ANOVA e ao teste de Scott-Knott a uma significância de 5% a fim de averiguar a existência de diferença significativa entre os valores e, caso haja, averiguar também onde tais diferenças se encontram.

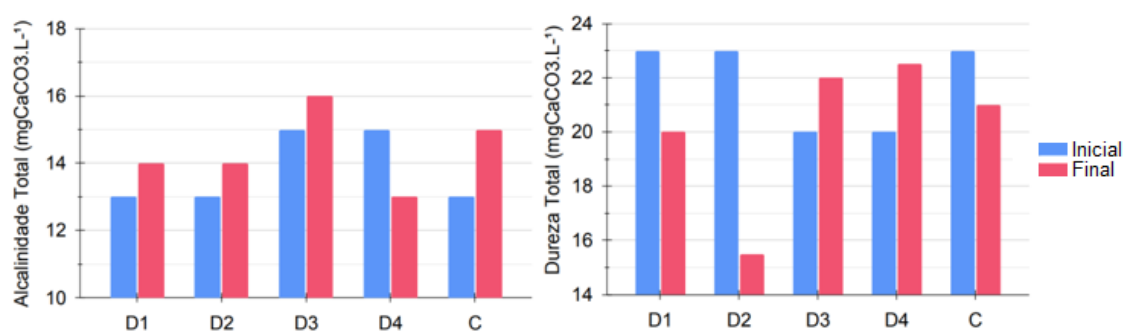
Após realização da análise estatística com os dados de condutividade elétrica foi observado que as formulações em pó e líquida aplicadas em meio inerte (tratamentos D1 e D2) alcançaram valores sem diferença significativa entre si. Também se notou que os tratamentos aplicados em meio sob agitação (D3 e D4), apesar de alcançarem valores próximos, foram classificados como estatisticamente diferentes, sendo D3 o de valor inferior. Todos os tratamentos apresentaram diferença significativa quando comparados ao teste de controle.

Desta forma, o tratamento D3, correspondente à formulação de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio utilizada em pó e associada à cápsula porosa aplicada em meio sob agitação apresentou valor estatisticamente inferior aos demais tratamentos, sendo, portanto, a formulação mais indicada para aplicação na clarificação e conservação da água com baixa turbidez considerando o parâmetro condutividade elétrica.

4.3.3 Alcalinidade total e dureza total

Ao início e ao final de cada ensaio foram realizadas análises de Alcalinidade Total e Dureza Total a fim de verificar se as formulações coagulantes aplicadas para o tratamento da água ocasionariam alterações nos respectivos parâmetros. Os valores amostrados encontram-se dispostos graficamente na Figura 28.

FIGURA 28 - Valores de Alcalinidade Total e Dureza Total aferidos ao início e ao final de cada tratamento



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: D1: Formulação coagulante em pó e meio inerte; D2: Formulação coagulante líquida e meio inerte; D3: Formulação coagulante em pó e meio sob agitação; D4: Formulação coagulante em pó e meio sob agitação; C: Controle.

Analisando os valores plotados no gráfico referente ao parâmetro de alcalinidade total é possível notar que todos os tratamentos, com exceção de D4, acompanharam o comportamento de aumento observado no teste de controle, onde nenhum agente coagulante foi empregado.

Os tratamentos D1, D2 e D3, que haviam apresentado ao início do ensaio valores respectivos de 13 mgCaCO₃.L⁻¹, 13 mgCaCO₃.L⁻¹ e 15 mgCaCO₃.L⁻¹, ao final aumentaram em apenas uma unidade a alcalinidade total do meio. Quanto ao tratamento D4, que havia iniciado com 15 mgCaCO₃.L⁻¹ teve a alcalinidade diminuída para 13 mgCaCO₃.L⁻¹.

A alcalinidade em piscinas quando mantida entre a faixa ideal de 80 mgCaCO₃.L⁻¹ a 120 mgCaCO₃.L⁻¹, auxilia na estabilidade do pH atuando como tampão, desta forma é importante que os agentes floculantes empregados alterem o mínimo possível este parâmetro (ABNT, 2016). Desta forma, o fato dos tratamentos empregados terem variado a alcalinidade total da água sob

tratamento em +1ppm e -2 mgCaCO₃.L⁻¹ é de suma importância, pois ao serem aplicados em águas de piscinas não irão interferir no parâmetro.

Quanto aos níveis de dureza total analisados foi observado dois comportamentos distintos entre os tratamentos empregados. Na utilização dos tratamentos D1 e D2, onde ambos foram administrados em meio inerte, observou-se queda no parâmetro de 23 mgCaCO₃.L⁻¹ para 20 mgCaCO₃.L⁻¹ (D1) e de 23 mgCaCO₃.L⁻¹ para 15,5 mgCaCO₃.L⁻¹ (D2).

Já em relação aos tratamentos aplicados em meio sob agitação (D3 e D4), notou-se um comportamento de aumento na dureza total do meio, pois D3 que havia iniciado o ensaio com 20 mgCaCO₃.L⁻¹, encerrou com 22 mgCaCO₃.L⁻¹, e D4, que havia iniciado com iguais 20 mgCaCO₃.L⁻¹, terminou com 22,5 mgCaCO₃.L⁻¹.

A dureza total em águas de piscinas tem um papel fundamental e deve ser mantida em uma faixa de 200 mgCaCO₃.L⁻¹ a 400 mgCaCO₃.L⁻¹, fora deste intervalo o parâmetro pode causar diversas complicações tanto no tratamento da água quanto na instalação hidráulica (ABNT, 2016).

Quando se encontra em níveis elevados a dureza total confere opacidade e turbidez à água e inviabiliza a completa desinfecção, pois dificulta a ação do cloro. Em casos extremos a água dura, termo referente a água com alto grau de dureza total, pode provocar formação de incrustações no sistema hidráulico danificando a instalação.

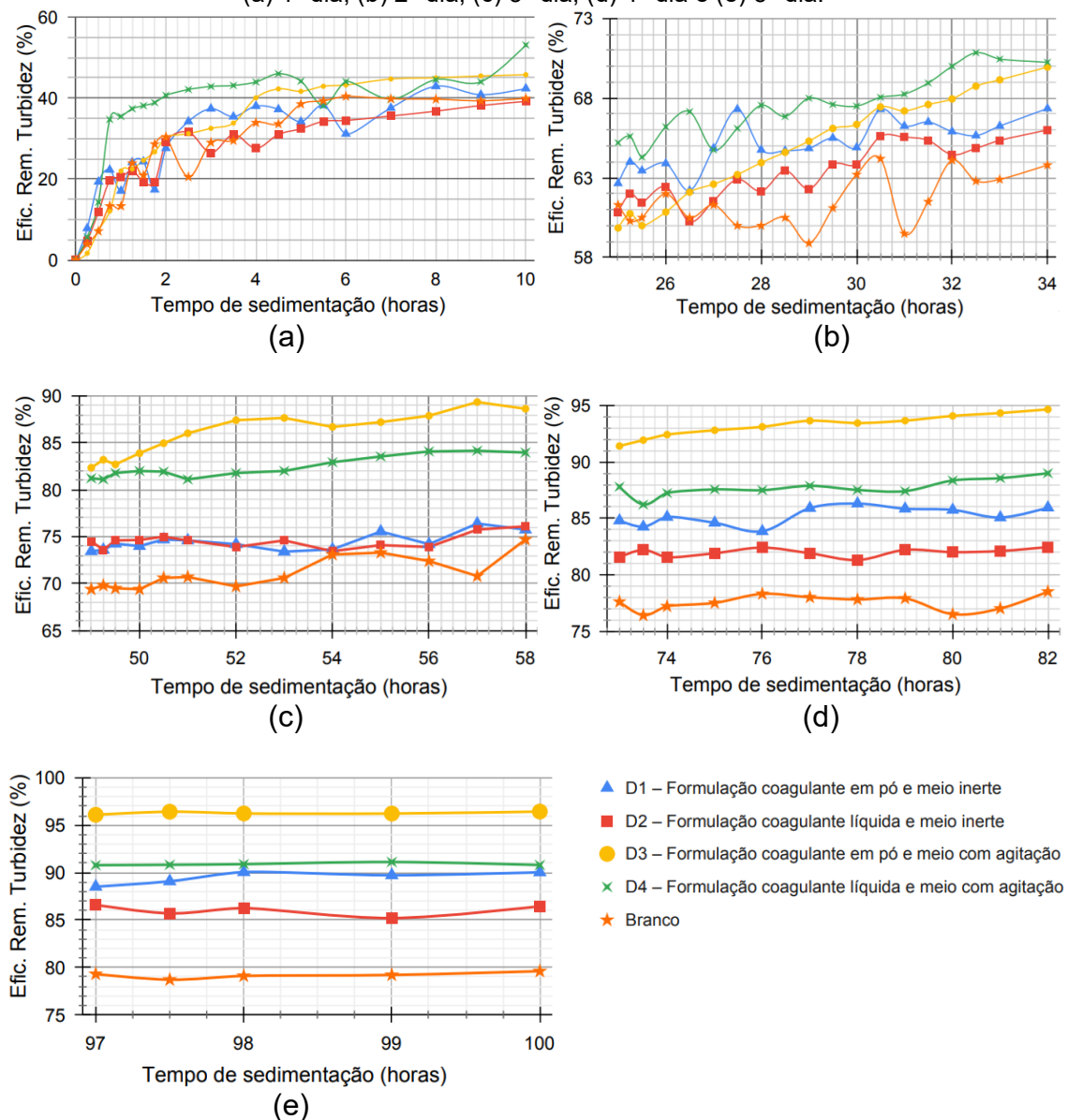
Em contrapartida, em casos onde a dureza encontra-se abaixo de 200 mgCaCO₃.L⁻¹ e recebe a denominação de água mole, ocasiona prejuízos especialmente às instalações, corroendo metais e materiais que possuem cálcio em sua composição.

Desta forma, assim como a alcalinidade total, é imprescindível que a dureza total seja mantida dentro da sua respectiva faixa ideal, para tal é desejável que o tratamento com agente coagulante não ocasione mudanças severas no parâmetro. Isto posto, os tratamentos testados nas condições do presente estudo, por ocasionarem variações de apenas +2,5 mgCaCO₃.L⁻¹ e -7,5 mgCaCO₃.L⁻¹ não promoveriam problemas no tratamento da água em piscinas quanto a dureza total.

4.3.4 Turbidez

Os percentuais de remoção de turbidez estão dispostos na Figura 29 e, devido a quantidade de amostras realizadas, os valores foram distribuídos em gráficos diários.

FIGURA 29 – Valores percentuais médios de eficiência na remoção de turbidez amostrados no (a) 1º dia, (b) 2º dia, (c) 3º dia, (d) 4º dia e (e) 5º dia.



FONTE: O autor (2021).

De acordo com a Figura 29a nota-se que a partir de 0,25 h de ensaio os tratamentos começaram a apresentar distanciamento em seus percentuais de remoção, diferença que aumentos nas análises subsequentes. Ainda em 0,25 h,

a formulação em pó sem agitação (D1) correspondia à uma remoção de 19% enquanto os demais tratamentos apresentavam eficiências de 14% (D4), 12% (D1), 4% (Branco) e 2% (D3).

Em função da maior facilidade da formulação líquida em transpassar os poros da cápsula juntamente com a agitação que dispersa os agentes coagulantes liberados, em 0,75 h o tratamento D4 apresentou um aumento expressivo na remoção de turbidez atingindo 35%, se sobressaindo quanto aos demais tratamentos. Até às 5 horas de análise o tratamento D4 permaneceu com remoções superiores em relação aos demais, alcançando 46% em 4,5 horas e diminuindo para 44% em 5 horas de tratamento.

Os demais tratamentos, apesar de apresentarem algumas oscilações, mantiveram comportamento de ascensão durante o primeiro dia, especialmente após as 4 horas de análise.

Ao final do primeiro dia observou-se que os tratamentos onde não havia agitação da água tiveram suas porcentagens de remoção mais próximas da amostra de controle, encerrando o período com percentuais de 42% (D1) e 39% (D2) enquanto a amostra de controle encerrou com 40%. Os tratamentos onde as formulações foram aplicadas em meio sob agitação finalizaram o dia com as duas maiores remoções de turbidez, sendo estas 46% (D3) e 53% (D4).

As porcentagens amostradas foram submetidas à análise estatística visando averiguar se os tratamentos estavam sendo eficientes. Utilizou-se a Análise de Variância (ANOVA) com 5% de significância e caso houvesse indicação de diferença significativa os percentuais seriam submetidos ao teste de Scott-Knott também a mesma significância. Desta forma, os resultados obtidos após análise estatística estão dispostos na Tabela 17.

TABELA 16 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa na 3ª fase.

Tempo de análise (horas)	Erro padrão	Tratamentos				
		D1	D2	D3	D4	Controle
0,25	1,14	8a	5a	2a	6a	4a
0,5	3,64	19a	12a	7a	14a	7a
0,75	3,27	22b	20b	12b	35a	13b
1	5,21	17a	20a	22a	35a	13a
1,5	4,27	24a	22a	22a	37a	24a

2	3,59	24b	19b	25b	38a	21b
2,5	3,73	17a	19a	27a	39a	29a
3	0,93	28b	29b	30b	41a	30b
3,5	1,11	34b	32b	31b	42a	21c
4	1,2	37b	26d	33c	43a	29d
5	1,44	35b	31b	34b	43a	30b
6	1,83	38a	28c	40a	44a	34b
7	1,48	37b	31b	42a	46a	34b
8	1,85	34b	32b	42a	44a	39a
9	1,78	38a	34a	43a	38a	39a
10	1,37	31b	34b	43a	44a	40a

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: D1: Formulação em pó e meio inerte; D2: Formulação líquida e meio inerte; D3: Formulação em pó e meio sob agitação; D4: Formulação líquida e meio sob agitação. a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Ao submeter os percentuais de remoção do primeiro dia de ensaio à análise Scott-Knott foi possível observar a existência de diferença significativa em quatorze dos vinte momentos de amostragem, vistas especialmente após às 2 h.

A primeira diferença encontra-se em 0,75 h, onde o tratamento D4 (formulação líquida em meio sob agitação) apresentou remoção de 35%, estatisticamente superior aos demais tratamentos que apresentaram eficiências de 22% (D1), 20% (D2), 12% (D3) e 13% (Branco). O tratamento D4 resultou em elevadas eficiências na remoção da turbidez ao decorrer do dia, sendo estatisticamente o melhor tratamento em todos os tempos.

Ressalta-se que os tratamentos D3 e D4 foram aplicados em meio onde houve agitação mecânica da água, fator que pode ter influenciado positivamente o tratamento, uma vez que as mesmas formulações quando aplicadas em meio inerte tiveram desempenhos estatisticamente inferiores.

O tratamento D2 (formulação líquida e água inerte) foi o tratamento menos eficiente do primeiro dia, pois em 75% das análises não apresentou diferença significativa para com o teste de controle.

Quanto ao segundo dia de análise percebe-se que os tratamentos tiveram menores oscilações quando comparados aos comportamentos do

primeiro dia, indicando que as maiores atividades coagulantes tendem a acontecer nas primeiras horas de tratamento.

Também foi possível observar que na maior parte do dia a amostra de controle permaneceu com as menores remoções de turbidez mesmo tendo oscilado em alguns momentos. A amostra de controle iniciou o dia com porcentagem de diminuição de turbidez correspondente a 61% e o encerrou com 64%.

Outro ponto a ser ressaltado refere-se ao tratamento D4 (formulação coagulante líquida e meio sob agitação), que havia encerrado o primeiro dia sendo estatisticamente o melhor tratamento, e permaneceu o segundo dia integralmente em superioridade, iniciando e encerrando com eficiências de 65% e 70%, respectivamente.

O maior aumento na remoção de turbidez observado neste dia corresponde à aplicação da formulação em pó em meio sob agitação (D3), tal tratamento iniciou o dia como o menos eficiente (60% de remoção) e encerrou o dia com remoção análoga à formulação líquida em meio sob agitação (D4), com 70%.

Desta forma, os tratamentos onde as formulações foram testadas sob agitação, encerraram o segundo dia de análise sendo os mais eficientes, comportamento decorrido em função da movimentação mecânica da água, ação ausente nos demais tratamentos, comprovando até então a sua importância na dispersão do agente coagulante durante o processo de tratamento de água.

Objetivando averiguar se os comportamentos do segundo dia de análise e as alterações observadas nas remoções foram significativas, os valores amostrados ao decorrer do dia foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) com 5% de significância e caso houvesse indicação de diferença significativa, os mesmos seriam submetidos também ao teste de Scott-Knott. Assim sendo, os resultados desta análise foram expostos na Tabela 18.

TABELA 17 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no segundo dia da 3ª fase.

Tempo de análise (horas)	Erro Padrão	Tratamentos				
		D1	D2	D3	D4	Controle
25	0,73	63b	61b	60b	65a	61b
25,25	1,15	64a	62b	61b	66a	60b

25,5	1,05	63a	61b	60b	64a	61b
26	0,85	64a	62b	61b	66a	62b
26,5	1,77	62a	60a	62a	67a	61a
27	0,99	65a	62b	63b	65a	61b
27,5	0,74	67a	63b	63b	66a	60c
28	0,6	65b	62c	64b	68a	60d
28,5	0,83	65a	63a	65a	67a	61b
29	0,84	65b	62c	65b	68a	59d
29,5	1,17	66a	64a	66a	68a	61b
30	0,88	65b	64b	66a	68a	63b
30,5	0,69	67a	66b	67a	68a	64b
31	1,23	66a	66a	67a	68a	60b
31,5	0,93	67a	65a	68a	69a	62b
32	1,18	66b	64b	68a	70a	64b
32,5	1,04	66b	65b	69a	71a	63b
33	1,1	66b	65b	69a	70a	63b
34	1,3	67b	66b	70a	70a	64b

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: D1: Formulação em pó e meio inerte; D2: Formulação líquida e meio inerte; D3: Formulação em pó e meio sob agitação; D4: Formulação líquida e meio sob agitação. a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Após aplicação do método Scott-Knott constatou-se queda nas diferenças estatísticas no segundo dia quando comparadas ao primeiro, isso por que nos primeiros minutos de sedimentação é onde se observa maiores variações na remoção da turbidez, uma vez que as interações iniciadas ainda na coagulação e floculação estão acontecendo com mais intensidade, a partir de um tempo maior de sedimentação o meio tende a se estabilizar e consequentemente os valores de remoção também.

Assim como no primeiro dia de análise, o tratamento D4 correspondeu ao melhor tratamento do segundo dia de análise uma vez que em todas as análises os percentuais de remoção apresentaram diferença significativa quanto aos demais.

O tratamento D3 onde a formulação encontrava-se em pó obteve a maior parte de suas remoções estatisticamente inferiores em relação a D4 até as 30 h

de ensaio, a partir deste momento até o final do ensaio, às 34 h, os tratamentos atingiram percentuais considerados iguais.

O tratamento D2 foi considerado o menos eficiente pelo segundo dia consecutivo uma vez que apresentou remoções tidas como as melhores do tempo de análise apenas em 5 das 19 amostragens do dia, tendo às 28 h e às 29 h se destacado como o tratamento menos eficiente dentre os que continham formulação coagulante.

Com exceção da análise realizada em 26,5 h, onde todas as remoções foram consideradas iguais, nos demais tempos de análise o teste de controle foi sempre inferior a ao menos um tratamento coagulante, reafirmando até então a existência da ação clarificante das formulações propostas.

Ao final do segundo dia de análise concluiu-se que nos tratamentos onde há agitação a formulação líquida atinge remoções mais elevadas em relação à formulação em pó. Quando o meio está inerte, nota-se o inverso, sendo a formulação em pó ligeiramente mais eficiente do que a formulação líquida.

Quanto ao terceiro dia de análise (Figura 30c) nota-se que, diferente dos dois primeiros dias, os tratamentos demonstraram um comportamento mais linear e estável. Aponta-se também um maior distanciamento entre as eficiências dos tratamentos aplicados em meio sob agitação para com os aplicados em meio inerte.

A amostra de controle pelo primeiro dia completo permaneceu com as menores porcentagens de redução de turbidez, apresentando 69% na primeira análise e mantendo-se próxima a esse valor até às 54 horas de ensaio, porém alterou-se para 73% e encerrou o dia com 74%.

Quanto aos tratamentos onde o meio permaneceu inerte (D1 e D2), observou-se inicialmente ligeira superioridade em relação ao teste de controle, pois começaram o dia com remoções de 73,5% (D1) e 74,5% (D2). Porém, em função do comportamento linear apresentado por ambos os tratamentos ao decorrer do dia, ao final as eficiências de remoção de turbidez correspondiam a 75,5% (D1) e 76% (D2).

Quanto aos tratamentos aplicados em meio sob agitação (D3 e D4), todas as análises do terceiro dia indicaram valores de eficiência na remoção de turbidez iguais ou superiores a 81%.

O tratamento D4, onde foi utilizada formulação coagulante líquida e que até então havia se apresentado como o mais eficiente do ensaio, permaneceu durante todo o terceiro como o segundo tratamento mais eficiente, iniciando o dia com remoção de turbidez de 81% e encerrando o período com 84%.

Por fim, a formulação em pó aplicada em meio sob agitação (D3) apresentou superioridade quanto aos demais tratamentos durante todo o período de análise, iniciando com 82% de remoção na turbidez e encerrando com 89%. Ademais, o tratamento D3 também foi o tratamento que demonstrou maior aumento na eficiência ao decorrer do dia, sendo este de 7%.

Os percentuais de eficiência na remoção de turbidez calculados no terceiro dia de análise foram submetidos aos testes estatísticos ANOVA e Scott-Knott, ambos a uma significância de 5%. Assim, os resultados obtidos foram dispostos na Tabela 19.

TABELA 18 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no terceiro dia da 3ª fase.

Tempo de análise (horas)	Erro Padrão	Tratamentos				
		D1	D2	D3	D4	Controle
49	2,69	73b	75b	82a	81a	69b
49,25	2,81	74b	74b	83a	81a	70b
49,5	2,61	74b	75b	83a	82a	70b
50	2,88	74b	75b	84a	82a	69b
50,5	2,67	75b	75b	85a	82a	71b
51	2,71	75b	75b	86a	81a	71b
52	2,31	74b	74b	87a	82a	70b
53	2,35	73b	75b	88a	82a	71b
54	2,37	74b	73b	87a	83a	73b
55	2,35	76b	74b	87a	84a	73b
56	2,43	74b	74b	88a	84a	72b
57	2,42	76b	76b	89a	84a	71b
58	2,34	76b	76b	89a	84a	75b

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: D1: Formulação em pó e meio inerte; D2: Formulação líquida e meio inerte; D3: Formulação em pó e meio sob agitação; D4: Formulação líquida e meio sob agitação. a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Ao aplicar o teste Scott-Knott de variação múltipla nos dados do terceiro dia de ensaio notou-se uma uniformidade na diferença estatística entre os percentuais de remoção, desta forma os valores dos tratamentos D1 e D2, onde as formulações respectivas em pó e líquida foram aplicadas em meio inerte, apresentaram resultados estatisticamente iguais tanto entre si quanto ao compará-los ao teste de controle.

Em contrapartida os tratamentos D3 (formulação em pó) e D4 (formulação líquida) aplicados em meio sob agitação tiveram desempenhos estatisticamente iguais entre si e superiores aos demais tratamentos e, por consequência, superiores também ao teste de controle.

A superioridade estatística dos tratamentos D3 e D4 para com os demais reforça a importância da agitação periódica da água que possibilita a dispersão do agente coagulante no meio e, por conseguinte a ação clarificante.

Em relação ao quarto dia de análises foi observado que os tratamentos se distanciaram uns dos outros indicando possivelmente uma definição e consolidação em suas respectivas eficiências na remoção da turbidez e por conseguinte estabilização na faixa final de remoção que cada tratamento é capaz de atingir.

Observou-se que a amostra de controle, que iniciou o dia com 78% de diminuição na turbidez, passou por pequenas oscilações ao decorrer do período de análise e o encerrou com porcentagem de 76%.

Assim como no terceiro dia, os tratamentos D1 e D2, onde o meio permaneceu inerte, mantiveram-se como os menos eficientes, porém ao compará-los entre si observa-se que a formulação em pó (D1) apresentou eficiência ligeiramente superior quanto à formulação líquida (D2). Assim, os tratamentos que haviam iniciado o dia com remoções de 85% (D1) e 82,5% (D2) encerraram o quarto dia com percentuais de 86% (D1) e 82% (D2).

Analisando os desempenhos das formulações aplicadas em água sob agitação notou-se um comportamento semelhante aos tratamentos onde o meio permaneceu inerte, pois em ambos as formulações em pó apresentaram melhores eficiências quanto às formulações líquidas aplicadas sob mesmas circunstâncias, indicando a superioridade da formulação em pó tanto em meio inerte quanto sob agitação.

Porém, analisando individualmente a formulação líquida em meio sob agitação (D4) notou-se pequenas oscilações durante o período, contudo iniciou e finalizou o dia com percentuais semelhantes, sendo respectivamente 88% e 89%.

Quanto à formulação em pó testada em meio sob agitação (D3) constatou-se que este correspondeu ao único tratamento ainda com algum indicativo de ascensão. O tratamento D3 iniciou o dia com 91% de remoção e encerrou o período com 95%. Ressalta-se também que, até então, este foi o único tratamento a ultrapassar a eficiência de 90%.

Os dados percentuais aferidos durante o quarto dia de ensaio foram submetidos às análises estatísticas ANOVA e Scott-Knott, ambos à uma significância de 5%. Os resultados de tais análises encontram-se dispostos na Tabela 20.

TABELA 19 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no quarto dia da 3ª fase.

Tempo de análise (horas)	Erro Padrão	Tratamentos				
		D1	D2	D3	D4	Controle
73	2,2	85b	82b	91a	88a	78b
73,5	2,51	84b	82b	92a	86b	76b
74	2,54	85b	82b	92a	87b	77b
75	2,58	85b	82b	93a	88b	78b
76	2,51	84b	82b	93a	87a	78b
77	2,49	86a	82b	94a	88a	78b
78	2,33	86a	81b	93a	88a	78b
78	2,36	86a	82b	94a	87a	78b
79	2,46	86a	82b	94a	88a	77b
80	1,84	85a	82b	94a	89a	77c
81	2,42	86b	82b	95a	89a	79b

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: D1: Formulação em pó e meio inerte; D2: Formulação líquida e meio inerte; D3: Formulação em pó e meio sob agitação; D4: Formulação líquida e meio sob agitação. a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Após realização do teste de Scott-Knott verificou-se uma estabilidade quanto a diferença significativa dos resultados.

O tratamento D4 (formulação líquida em meio sob agitação) que seguia em um cenário de estabilidade e superioridade em relação aos demais tratamentos apresentou igualdade estatística com os tratamentos D1 e D2. O mesmo tratamento também apresentou diferença estatística em relação ao tratamento D3, não por ter diminuído sua eficiência na remoção, mas sim por que o tratamento em pó aplicado em meio sob agitação (D3) apresentou grande melhora entre o final do terceiro dia e início do quarto, fazendo com que entre às 74 horas e 75 horas de ensaio, se destacasse como o melhor tratamento. Entretanto, a partir do tempo seguinte (76 horas) D3 e D4 retornaram a igualdade estatística entre si e assim permaneceram até o final do dia.

Outro fator a ser destacado refere-se ao tratamento D1, que até então encontrava-se em igualdade com o tratamento D2 e com o teste de controle. A partir das 77 horas de ensaio se igualou estatisticamente com os tratamentos D3 e D4 e permaneceu desta forma até a penúltima análise do dia (81 horas), porém encerrou o dia sendo, novamente, igual ao tratamento D2 e ao teste de controle.

Por fim, observa-se que na penúltima análise o teste de controle apresentou pela primeira vez no dia diferença estatística para com todos os tratamentos indicando, não apenas sua estabilidade, mas também o aumento na clarificação da água desempenhada pelos coagulantes.

No quinto e último dia de análises foi observado comportamento de estabilização para todos os tratamentos bem como para a amostra de controle.

A amostra de controle iniciou o último dia de análise com diminuição na turbidez correspondente a 74% e para as quatro últimas análises esta porcentagem manteve-se em 75%. Ressalta-se que a amostra de controle permaneceu nesta porcentagem desde o terceiro dia de análise quando atingiu pela primeira vez o valor de 75%.

Mantendo o comportamento observado no dia anterior, as formulações em pó foram ligeiramente mais eficientes quando comparadas às formulações líquidas aplicadas sob mesma condição de agitação. Também se constatou que as formulações quando aplicadas em meio sob agitação atingem eficiências mais elevadas do que quando aplicadas em meio inerte.

Desta forma, ao final das 100 horas de ensaio, o tratamento D2 (formulação líquida em meio inerte) correspondeu ao tratamento com menor

eficiência dentre todos, iniciando o dia com 87% de remoção e encerrando o dia e o experimento com eficiência final de 86% de remoção de turbidez.

Quanto ao tratamento D1 (formulação em pó aplicada em meio inerte) foi observada eficiência de 89% na primeira análise do quinto dia, elevando-se para 90% às 98 horas e mantendo-se desta forma até o final.

O tratamento D4 (formulação líquida em meio sob agitação) mostrou eficiências de remoção próximas às do tratamento D1, tendo iniciado o último dia com porcentagem de 91% e mantendo-se com esta eficiência até a última análise, comprovando de fato sua estabilidade.

Por fim, o tratamento mais eficiente do estudo correspondeu ao qual a formulação em pó foi aplicada em meio sob agitação (D3), tendo atingido eficiência de 96% logo no início do quinto dia e, a partir da terceira análise do dia (98 horas de experimento), 97% de eficiência mantendo-se com esta eficiência até o final do dia e do experimento.

As porcentagens referentes às eficiências de remoção de turbidez amostradas durante o quinto dia de análise foram submetidas à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Scott-Knott, ambos à uma significância de 5%. Os resultados provenientes desta análise estão disponíveis na Tabela 21.

TABELA 20 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de eficiência na remoção da turbidez utilizando formulação coagulante associada à cápsula porosa no quinto dia da 3ª fase

Tempo de análise (horas)	Erro Padrão	Tratamentos				
		D1	D2	D3	D4	Branco
97	2,19	89b	87b	97a	91a	79b
97,5	2,38	89a	86a	96a	91a	79b
98	2,13	90a	86b	96a	91a	79c
99	2,08	90a	85b	96a	91a	79b
100	1,89	90a	86b	96a	91a	80c

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: D1: Formulação em pó e meio inerte; D2: Formulação líquida e meio inerte; D3: Formulação em pó e meio sob agitação; D4: Formulação líquida e meio sob agitação. a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas linhas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Após verificação estatísticas dos percentuais de remoção de turbidez analisados durante o quinto dia de ensaio, notou-se que ao final todos os tratamentos testados nesta fase da pesquisa atingiram eficiências

estatisticamente superiores em relação ao teste de controle, desta forma, comprovando a real capacidade coagulante das formulações avaliadas.

Dentre os quatro tratamentos monitorados o teste de multivariância apontou diferença estatística do tratamento D2 (formulação líquida e meio inerte) para com os demais, indicando que este atingiu eficiência estatisticamente menor para com os demais.

Constatou-se também que os tratamentos D1 (formulação em pó em meio inerte), D3 (formulação em pó em meio sob agitação) e D4 (formulação líquida em meio sob agitação), embora tenham atingido percentuais distintos de eficiência na remoção da turbidez foram considerados por Scott-Knott estatisticamente iguais.

4.3.5 Considerações Parciais

Visando sintetizar os percentuais e comportamentos dos tratamentos submetidos ao teste de clarificação da água, os valores iniciais e finais amostrados em cada um dos 5 dias para todos os tratamentos foram agrupados e encontram-se dispostos na Tabela 22.

TABELA 21 – Percentuais médios iniciais e finais de remoção de turbidez amostrados durante os cinco dias de ensaio para os tratamentos D1, D2, D3 e D4 bem como para o teste de controle.

		D1	D2	D3	D4	Branco
DIA 1	Inicial	8	5	2	6	4
	Final	42	39	46	53	40
DIA 2	Inicial	63	61	60	65	61
	Final	67	66	70	70	64
DIA 3	Inicial	73	75	82	81	69
	Final	76	76	89	84	75
DIA 4	Inicial	85	82	91	88	78
	Final	86	82	95	89	79
DIA 5	Inicial	89	87	96	91	79
	Final	90	86	96	91	80

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: D1: Formulação em pó e meio inerte; D2: Formulação líquida e meio inerte; D3: Formulação em pó e meio sob agitação; D4: Formulação líquida e meio sob agitação.

Nota-se que a maior atividade coagulante dos tratamentos testados ocorreu entre o final do Dia 2 e início do Dia 3, após esse período as eficiências continuaram aumentando, porém de uma maneira mais branda.

Ao final, foi possível observar que o tratamento D3, onde aplicou-se formulação em pó em meio sob agitação, atingiu remoção de 96% correspondendo ao tratamento mais eficiente do ensaio, seguido pelos tratamentos D4 (formulação líquida em meio sob agitação), D1 (formulação em pó em meio inerte) e por fim D2 (formulação líquida em meio inerte) que atingiram remoções respectivas de 91%, 90% e 86%.

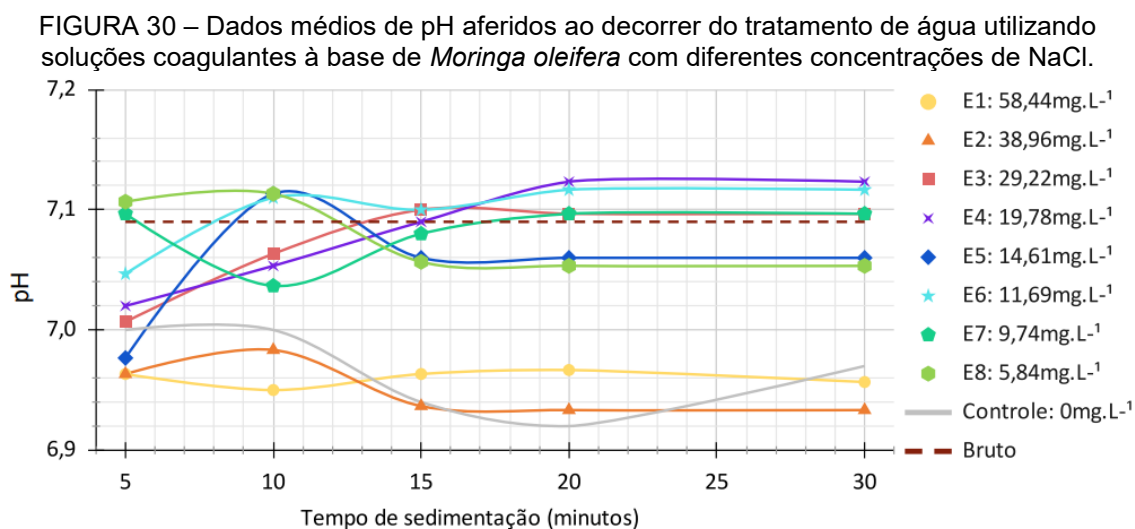
De acordo com a análise de Scott-Knott todas as formulações empregadas no estudo tiveram eficiências estatisticamente superiores em relação ao teste de controle. Também em conformidade com mesma análise estatística o tratamento D2 (formulação líquida em meio inerte) mostrou-se inferior em relação aos demais tratamentos. D1, D3 e D4 foram tidos como estatisticamente iguais.

Considerando as eficiências percentuais de remoção de turbidez juntamente com os valores médios de condutividade elétrica amostrados ao final do ensaio constatou-se que os tratamentos D3 e D4, por atingirem as menores condutividades elétricas, são os melhores tratamentos. Isto posto, indica-se a utilização das formulações coagulantes em pó ou líquida desde que a água sob tratamento esteja ocasionalmente sob agitação.

4.4 TESTES DE APERFEIÇOAMENTO NA EFICIÊNCIA DA SOLUÇÃO COAGULANTE À BASE DE *Moringa oleifera*

4.4.1 Teste de variação na concentração de NaCl na obtenção da solução salina à base de *Moringa oleifera*

Os resultados obtidos para o parâmetro pH ao decorrer do ensaio físico-químico estão dispostos graficamente na Figura 30.



FONTE: O autor (2021).

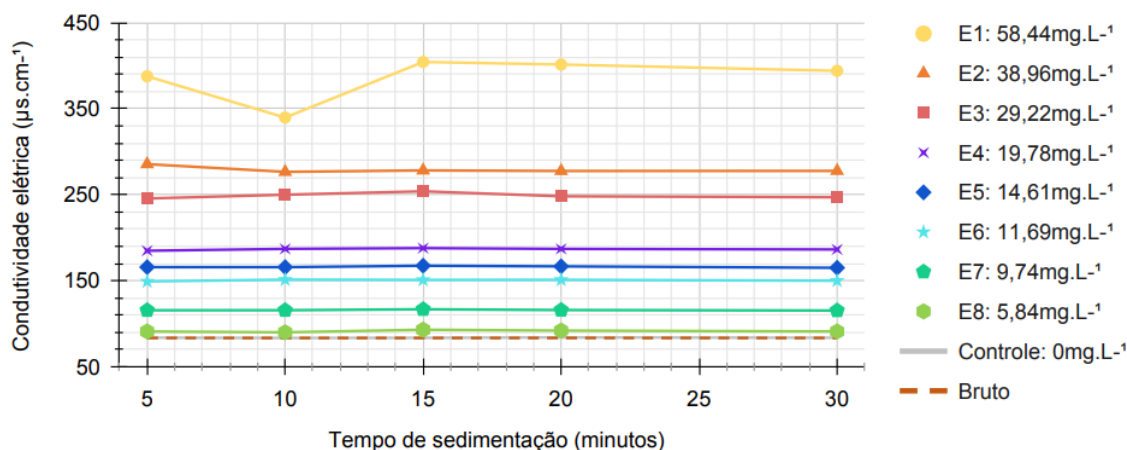
À priori observa-se que todos os valores amostrados durante o ensaio se mantiveram entre 6,92 e 7,12 enquanto que o pH inicial da água utilizada era de 7,08, indicando visualmente que a variação na concentração do cloreto de sódio utilizado na obtenção da solução salina à base de *Moringa oleifera* não ocasiona oscilações bruscas no parâmetro.

Individualmente os tratamentos tiveram uma variação média no pH de apenas 0,07, sendo os tratamentos que mais variaram foram o E4 (19,78 mg.L⁻¹) e E5 (14,61 mg.L⁻¹) com oscilações de 0,10 e 0,14, respectivamente.

Os tratamentos E1 e E2, que tinham maior concentração de cloreto de sódio na solução coagulante atingiram os valores mais baixos de pH, em contrapartida a solução que não possuía o sal como componente atingiu valores igualmente baixos, descartando a possibilidade da concentração de NaCl estar relacionada à diminuição do parâmetro.

Os valores de condutividade elétrica amostrados durante o ensaio para todos os tratamentos estão dispostos graficamente na Figura 31.

FIGURA 31 - Dados médios de condutividade elétrica aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* com diferentes concentrações de NaCl.



FONTE: O autor (2021).

Os valores medidos durante o tempo de sedimentação variaram entre 83,4 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ (Controle) e 404,3 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ (E1). De modo geral os tratamentos apresentaram comportamentos lineares e estáveis, com exceção do tratamento E1 que iniciou a sedimentação com condutividade elétrica correspondente a 387,7 $\mu\text{s.cm}^{-1}$, abaixando para 339,7 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ aos 10 minutos, elevando-se novamente para 404,3 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ e encerrando o ensaio com 394,0 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ caracterizando o único tratamento a atingir valores superiores a 400 $\mu\text{s.cm}^{-1}$.

O tratamento E2, que teve redução de $\frac{1}{3}$ na concentração de NaCl em relação ao tratamento E1, teve redução na condutividade elétrica na mesma proporção, com exceção da análise realizada aos 10 minutos devido à baixa do E1. Desta forma, o tratamento E2, que se manteve estável durante a sedimentação iniciou o processo com 285,5 $\mu\text{s.cm}^{-1}$, reduziu para 276,4 $\mu\text{s.cm}^{-1}$ na segunda análise e manteve-se próximo a este valor encerrando o ensaio com 277,7 $\mu\text{s.cm}^{-1}$.

Também é possível notar que, de acordo com o comportamento esperado, conforme a concentração de cloreto de sódio aplicada era menor a condutividade medida na água também era menor, uma vez que, com a diminuição de sal, menor era a concentração de íons na água e consequentemente o valor do parâmetro.

Du *et al.* (2021), ao estudarem o efeito do cloreto de sódio na solução de *Moringa oleifera* concluíram que, embora o sal aumente o valor da condutividade elétrica na água ele é de fundamental importância para que a proteína catiônica da semente, responsável pela característica coagulante, torne-se solúvel e possa agir como agente floculante. No estudo os autores ainda demonstraram que a solubilidade da proteína é estatisticamente igual nas concentrações de 0,4 mol.L⁻¹, 0,6 mol.L⁻¹ e 0,8 mol.L⁻¹ (entre 40% e 50%) e que ao diminuir a concentração para 0,2 mol.L⁻¹ a proteína torna-se menos solúvel (15%) e conseqüentemente perde parte da sua capacidade coagulante.

Os valores de condutividade elétrica aferidos para esta etapa do estudo foram submetidos às análises estatísticas à uma significância de 5%. Os resultados obtidos após a análise estão dispostos na Tabela 23.

TABELA 22 – Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos com diferentes concentrações de NaCl

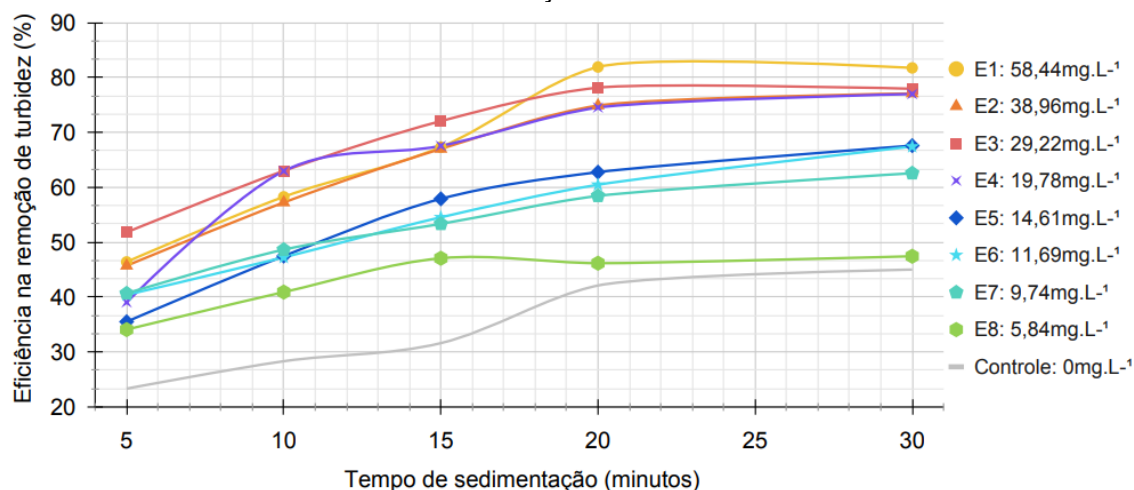
Tratamento	Concentração (mgNaCl.L ⁻¹)	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	15	20	30
E1	58,44	387,7h	339,7d	404,3h	401,3h	394,0h
E2	38,96	285,5g	276,5c	278,2g	277,6g	277,7g
E3	29,22	245,6f	250,0c	253,9f	248,1f	247,0f
E4	19,78	184,8e	187,0b	187,9e	187,0e	186,3e
E5	14,61	165,8d	165,7b	167,4d	166,7d	165,0d
E6	11,69	149,2c	151,3b	150,9c	151,1c	150,0c
E7	9,74	115,6b	115,7a	116,8b	115,9b	115,3b
E8	5,84	91,0a	90,0a	93,0a	92,0a	91,0a
Controle	0	83,7a	83,4a	83,6a	84,0a	83,7a
Erro Padrão		3,99	14,2	2,95	2,69	2,43

a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Os valores de turbidez foram medidos em NTU e posteriormente relacionados com o valor bruto da turbidez (100 NTU) para que assim pudessem ser obtidas as porcentagens de eficiência de remoção para cada um dos

tratamentos aplicados. Desta forma, os percentuais calculados encontram-se dispostos graficamente na Figura 32.

FIGURA 32 - Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* com diferentes concentrações de NaCl.



FONTE: O autor (2021).

Ao término do processo de sedimentação observa-se que todos os tratamentos conseguiram maiores eficiências percentuais aos 30 minutos de sedimentação quando comparados aos seus respectivos percentuais iniciais.

Também foi possível observar que desde o início os tratamentos que obtiveram as melhores eficiências estavam relacionados com os tratamentos com as maiores concentrações de cloreto de sódio, comportamento que fica mais evidente a partir dos 20 minutos de sedimentação onde os tratamentos mais eficientes são exatamente os tratamentos com as concentrações de sal mais elevadas.

O tratamento de controle, onde a solução coagulante a base de *Moringa oleifera* foi obtida sem adição de sal, foi o tratamento menos eficiente do ensaio, porém mesmo sem o composto apresentou na primeira análise 23% e elevando-se constantemente em os tempos até os 30 minutos de sedimentação onde encerrou com remoção de 45%, correspondendo a uma turbidez final na água de 55 NTU.

O tratamento E8 (5,84 mg.L⁻¹) foi, dentre as soluções que continham NaCl, o menos eficiente na remoção da turbidez iniciando o processo com remoção de 34% elevando-se até 47% (15 minutos de sedimentação) e

encerrando o ensaio com o mesmo percentual, correspondendo a uma turbidez final da água de 52,6 NTU.

Os tratamentos E5, E6 e E7 apresentaram eficiências e comportamentos semelhantes ao decorrer das análises. Assim, os tratamentos que iniciaram a sedimentação com remoções de 36% (E5), 40% (E6) e 41% (E7) atingiram 63% (E5), 60% (E6) e 58% (E7) aos 20 minutos de sedimentação e encerraram o processo com 68% (E5), 67% (E6) e 63% (E7).

O comportamento dos tratamentos E5, E6, E7, E8 e Controle frente à baixa remoção de turbidez da água está, possivelmente, relacionado ao estudo desenvolvido por Du *et al.* (2021) que relacionaram concentrações de $0,2 \text{ mol.L}^{-1}$ de NaCl com proteínas de *Moringa oleifera* menos solúveis.

O tratamento E4, embora com 14 mg.L^{-1} , apresentou remoção de 39%, inferior aos tratamentos E6 e E7, porém logo demonstrou-se mais eficiente alcançando 63% aos 10 minutos de sedimentação e elevando a remoção nos tempos seguintes encerrando o ensaio com 77% de remoção, correspondendo a uma turbidez final na água de 23 NTU.

O tratamento E3, embora não possuísse a maior concentração de NaCl dentre os tratamentos aplicados, iniciou o ensaio como sendo o tratamento mais eficiente com remoção de 52% e manteve-se como o melhor até os 15 minutos de sedimentação onde correspondia a uma remoção de 15% e ao atingir 78% aos 20 minutos ficou desta forma até o final o que possivelmente indica a estabilização da sua capacidade coagulante.

Por fim, os tratamentos E1 ($58,44 \text{ mg.L}^{-1}$) e E2 ($38,96 \text{ mg.L}^{-1}$), detentores das maiores concentrações de sal na solução coagulante de *Moringa oleifera*, tiveram desempenho semelhante nas três primeiras análises, onde primeiramente ambos alcançaram 46%, em seguida 58% (E1) e 57% (E2), igualando-se novamente com 67% aos 15 minutos de sedimentação. A partir dos 20 minutos o tratamento E2 atingiu 75% e encerrou o ensaio com remoção de 77% ao passo que o tratamento E1 ao atingir 82% aos 20 minutos não mais elevou sua eficiência. Desta forma tais tratamentos apresentaram turbidez final na água de 22 NTU (E2) e 18,2 NTU (E1).

Porém, para aferir a real superioridade de um tratamento em relação ao outro foi necessário avaliar os percentuais de maneira estatística, assim utilizou-se o método de análise de variância (ANOVA) para apontar a existência de

diferença significativa entre os dados e posteriormente o teste de multivariância Scott-Knott para informar onde exatamente encontram-se tais diferenças.

TABELA 23 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para os percentuais de remoção da turbidez aferidos em tratamentos com diferentes concentrações de NaCl

Tratamento	Concentração (mgNaCl.L ⁻¹)	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	15	20	30
E1	58,44	46a	58a	67a	82a	82a
E2	38,96	46a	57a	67a	75a	77a
E3	29,22	52a	63a	72a	78a	78a
E4	19,78	39b	63a	68a	75a	77a
E5	14,61	36b	47b	58b	63b	68b
E6	11,69	40b	47b	55c	60b	67b
E7	9,74	41b	49b	53c	58b	63c
E8	5,84	34b	41b	47d	46c	47d
Controle	0	23c	28c	32e	42c	45d
Erro Padrão		2,35	2,46	1,92	2,19	1,23

a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

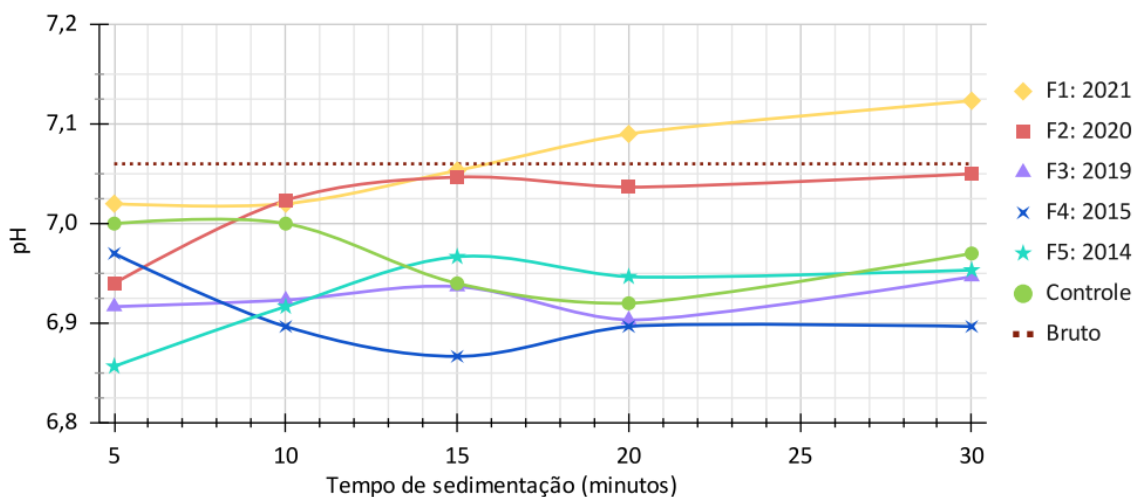
Após a realização do teste de Scott-Knott foi possível constatar que além de existir variação percentual entre os tratamentos, tais diferenças foram classificadas como estatisticamente diferentes. Assim, à medida que a concentração de NaCl é diminuída na solução de *Moringa oleifera* a eficiência na remoção da turbidez também decai de modo estatístico.

De acordo com a pesquisa realizada por Jain *et al.* (2019) este comportamento é observado em decorrência da direta interação entre o cloreto de sódio e a solubilidade da proteína presente na semente de *Moringa oleifera* responsável pela ação coagulante. Os autores ainda relatam que ao variar a concentração de cloreto de sódio de 0 M até 3 M observaram aumento percentual na extração da proteína em até 65,4%, quanto foi ministrado 0,25 M, o percentual de extração manteve-se não significativo até a utilização de 2,0 M, a partir de então a solubilidade decaiu.

4.4.2 Teste com sementes colhidas em diferentes anos

Os dados de pH amostrados para todos os tratamentos aplicados bem como para todos os tempos de sedimentação pré-estabelecidos estão dispostos graficamente na Figura 33.

FIGURA 33 - Dados médios de pH aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* obtidas com sementes colhidas em diferentes anos.



FONTE: O autor (2021).

De modo geral é possível observar que a maior variação no pH em relação ao valor da água bruta foi de 0,2, observado aos 5 minutos de sedimentação no tratamento F5, onde o valor de pH neste cenário correspondeu a 6,86.

Nota-se que o único tratamento a elevar o pH em relação ao bruto foi F1, referente às sementes colhidas em 2021, ao aplicar este tratamento o pH inicial foi de 7,02 e ao final encerrou os 30 minutos de sedimentação com um valor correspondente a 7,12.

O tratamento F2 (sementes colhidas em 2020), iniciou o ensaio com pH de 6,94 elevando-se nos tempos seguintes e encerrando o processo com valor de 7,05 sendo, portanto, o tratamento com os valores mais altos, com exceção de F1, porém o tratamento que mais se manteve próximo ao valor amostrado na água bruta.

Os demais tratamentos oscilaram os valores do pH ao decorrer da sedimentação, porém mantiveram-se o tempo todo entre o intervalo de 6,86 e 6,97

Os valores referentes ao pH amostrados nesta etapa do estudo foram submetidos às análises estatísticas à uma significância de 5% e os resultados estão expressos na Tabela 25.

TABELA 24 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de pH aferidos em tratamentos utilizando soluções coagulantes à base e Moringa oleifera obtida com sementes colhidas em diferentes anos.

Tratamento	Ano da colheita	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	15	20	30
F1	2021	7,02a	7,02a	7,05a	7,09a	7,12a
F2	2020	6,94a	7,02a	7,05a	7,04b	7,05b
F3	2019	6,92a	6,92b	6,94b	6,90d	6,95c
F4	2015	6,97a	6,90b	6,87c	6,90d	6,90d
F5	2014	6,86a	6,92b	6,97b	6,95c	6,95c
Controle		7,00a	7,00a	7,00a	6,94c	6,92c
Erro Padrão		0,04	0,02	0,01	0,01	0,01

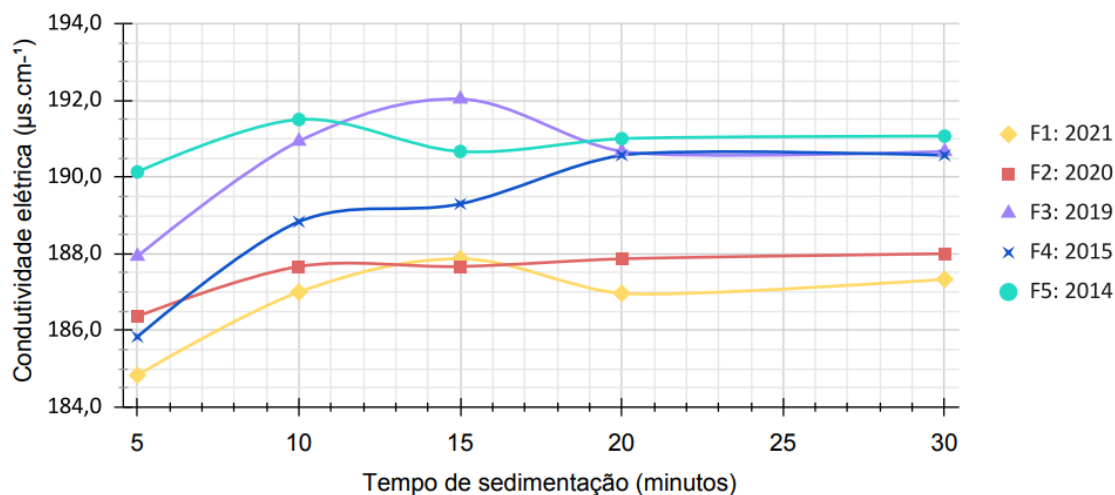
FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

A partir dos resultados contidos na Tabela 25 nota-se diferença significativa entre os valores de pH a partir dos 10 minutos de sedimentação. Observa-se também que tais diferenças aumentaram ao decorrer das análises. Entretanto, salienta-se que todos os valores de pH amostrados nesta etapa do estudo pouco variaram em função do pH de controle, ademais permaneceram sempre próximos a 7,00, precisamente o valor correspondente a neutralidade.

Os valores de condutividade elétrica verificados durante o processo de sedimentação foram plotados e estão dispostos na Figura 34.

Figura 34 - Dados médios de condutividade elétrica aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* obtidas com sementes colhidas em diferentes anos.



FONTE: O autor (2021).

Para estes tratamentos utilizados os valores de condutividade elétrica mantiveram-se em um intervalo de $184 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ a $192 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$. É possível notar visualmente que as sementes colhidas mais tardiamente atribuem mais condutividade elétrica a água submetida ao tratamento mesmo as formulações aplicadas tendo sido obtidas com a mesma concentração de NaCl ($1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) indicando que quanto mais recente a semente, menor é a quantidade de íons atribuídos à água.

Desta forma, a solução de *Moringa oleifera* obtida a partir de sementes colhidas em 2014 obteve os maiores valores de condutividade elétrica iniciando o ensaio com $190,1 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$, aumentando para $191,5 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ aos 10 minutos de sedimentação e mantendo-se próximo a este valor até encerrar o ensaio com $191,1 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ aos 30 minutos de sedimentação.

O tratamento F4 (2015) iniciou a sedimentação com condutividade elétrica de $185,8 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$, porém elevou-se continuamente até os 20 minutos de sedimentação onde o parâmetro correspondia a $190,6 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e se manteve sem alterações até a finalização do ensaio.

A solução salina onde utilizou-se sementes colhidas em 2019 (F3), embora tenha tido pequenas oscilações no começo da sedimentação a partir dos 20 minutos aproximou-se dos valores dos tratamentos F4 e F5 e apresentou $190,7 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ nas análises de 20 e 30 minutos de sedimentação.

Os tratamentos onde utilizou-se sementes de 2021 (F1) e 2020 (F2) corresponderam aos tratamentos com os menores valores de condutividade elétrica amostrados durante o processo de sedimentação. Na primeira análise os valores respectivos foram de $184,8 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $184,4 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e após pequenas oscilações encerraram o teste com $187,3 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ (F1) e $188,0 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ (F2).

TABELA 25 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* obtida com sementes colhidas em diferentes anos.

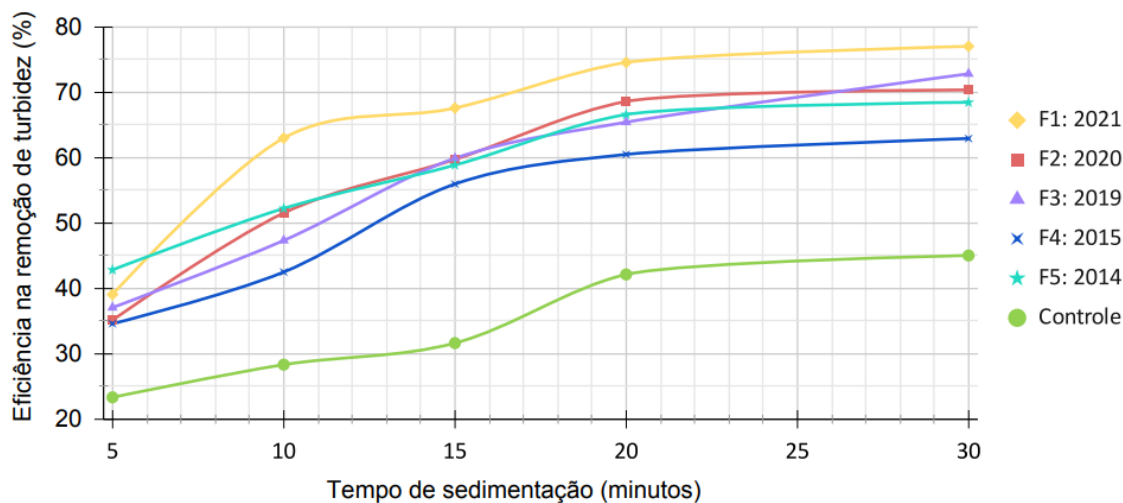
Tratamento	Ano da colheita	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	15	20	30
F1	2021	184,8b	187,0a	187,9a	187,0a	187,3a
F2	2020	186,4b	187,7a	187,7a	187,9a	188,0a
F3	2019	187,9b	190,9b	192,0b	190,7b	190,7b
F4	2015	185,8b	188,8a	189,3a	190,6b	190,6b
F5	2014	190,1b	191,5b	190,7b	191,0b	191,1b
Controle		23,0a	83,7b	83,4c	83,6c	84,0c
Erro Padrão		4,3	1,04	0,81	1,18	0,48

a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Após realizada a análise estatística nota-se que a partir dos 10 minutos de sedimentação as soluções salinas à base de *Moringa oleifera* apresentaram diferenças significativas entre si quanto a condutividade elétrica. Tais diferenças indicam que sementes colhidas a mais tempo possuem maior capacidade de elevar o parâmetro.

Os percentuais de eficiência de remoção de turbidez calculados nesta etapa da pesquisa estão apresentados graficamente na Figura 35.

FIGURA 35 - Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos ao decorrer do tratamento de água utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* obtidas com sementes colhidas em diferentes anos.



FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: Controle: Não foi aplicado agente coagulante, porém a água foi submetida aos mesmos processos físico-químicos dos demais tratamentos.

Ao observar o gráfico disposto na Figura 40, o primeiro comportamento que se destaca é a diferença entre a linha de diminuição da turbidez no teste de controle para com os demais, indicando a existência do agente coagulante em todas as soluções aplicadas neste ensaio. Ainda em relação ao teste de controle a redução máxima de turbidez deu-se no último tempo de sedimentação sendo esta correspondente a 45%.

Quanto aos tratamentos aplicados todos tiveram remoções de turbidez maiores do que suas respectivas eficiências iniciais indicando a ação do coagulante ainda durante o processo de sedimentação.

Dentre todos os tratamentos aplicados, o F4, onde utilizou-se sementes colhidas em 2015, correspondeu ao tratamento responsável pelas menores eficiências na remoção de turbidez em todas as análises realizadas, iniciando com 35% (5 minutos), aumentando a eficiência nos tempos seguintes para 42% (10 minutos), 56% (15 minutos) e 60% (20 minutos) e, por fim, encerrando o ensaio com remoção de 63%, correspondente a uma água com turbidez de 37 NTU.

Os tratamentos F2 (2020), F3 (2019) e F5 (2014) tiveram eficiências semelhantes ao decorrer de todo o ensaio oscilando sendo ora um mais eficiente, ora o outro, desta forma tais tratamentos iniciaram o processo de sedimentação com remoções de turbidez de 35% (2020), 37% (2019) e 43%

(2014), aumentaram suas eficiências ao decorrer das análises e encerraram o ensaio com remoções de 70% (2020), 73% (2019) e 68% (2014).

Por fim, o tratamento F1 embora tenha iniciado o teste com remoção de 39%, obteve nas análises seguintes as eficiências mais elevadas do ensaio, tendo já na segunda análise apresentando remoção de 63%, posteriormente elevada para 68% (15 minutos), 75% (20 minutos) e por fim encerrando a série de análises com remoção de 77%, correspondente a uma água com turbidez final de 23 NTU.

Apesar dos resultados percentuais finais não corresponderem exatamente à ordem cronológica em que as sementes de *Moringa oleifera* foram colhidas a superioridade na remoção de turbidez utilizando a solução F1 (sementes de 2021) talvez seja um indício de que sementes recém colhidas tenham ligeira melhora na eficiência quando comparada a sementes de outros anos, porém armazená-las sob refrigeração tenha sido eficiente para a conservação das características coagulantes presentes na semente.

Desta forma, a fim de averiguar a existência de superioridade e até mesmo diferença significativa entre os percentuais de remoção de turbidez, os mesmos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com significância de 5% e ao teste de Scott-Knott caso houvesse indicação de diferença estatística. Os resultados das análises estão dispostos na Tabela 27.

TABELA 26 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de remoção de turbidez aferidos em tratamentos utilizando soluções coagulantes à base de *Moringa oleifera* obtida com sementes colhidas em diferentes anos.

Tratamento	Ano da colheita	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	15	20	30
F1	2021	39a	63a	68a	75a	77a
F2	2020	35a	52b	60a	69a	70a
F3	2019	37a	47b	60a	65a	73a
F4	2015	35a	42b	56a	60a	63a
F5	2014	43a	52b	59a	67a	68a
	Controle	23a	28c	32b	42c	45b
	Erro Padrão	4,3	2,39	2,57	2,12	2,5

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Os resultados contidos na Tabela 27 indicam que, com exceção do primeiro tempo de análise (5 minutos de sedimentação), em todos os demais foram observadas diferenças significativas dos tratamentos onde havia presença de *Moringa oleifera* para com o teste de controle, onde não havia sido ministrado agente coagulante, indicando desta forma que as sementes colhidas em todos os anos apresentaram ação clarificante.

Também se nota que, com exceção da análise realizada aos 10 minutos, em todos os demais os tratamentos apresentaram igualdade estatística independente da porcentagem de eficiência de remoção que cada um atingiu.

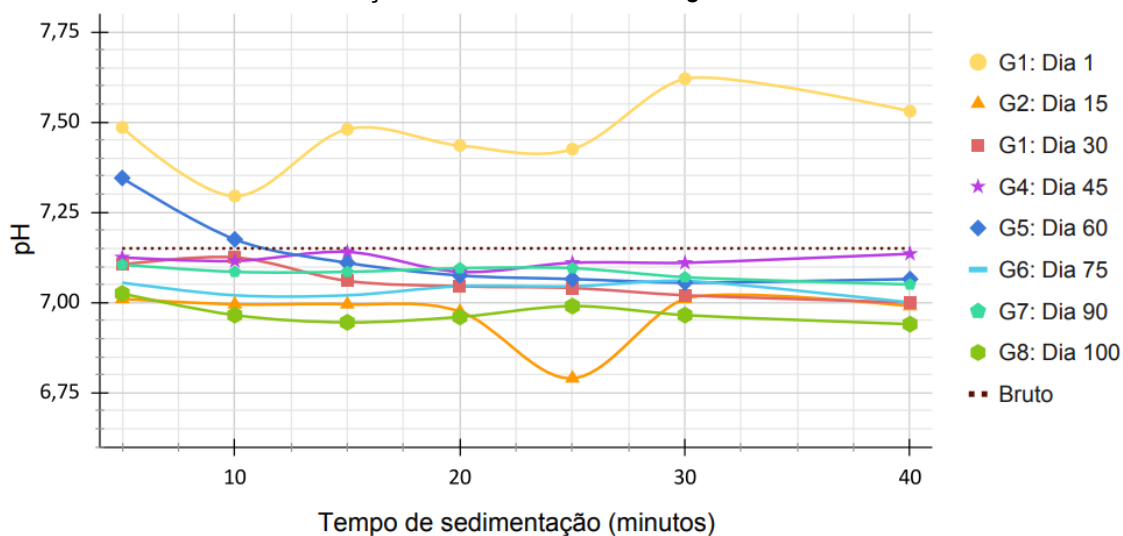
Desta forma, conclui-se que as sementes de *Moringa oleifera*, colhidas entre 2014 e 2021, ao serem utilizadas como agente coagulante por meio de solução salina líquida conseguem atingir remoções de turbidez estatisticamente iguais no tratamento de água indicando a conservação da proteína presente na semente e de seu respectivo caráter coagulante.

4.4.3 Teste de Prateleira

4.4.3.1 Solução coagulante salina à base de *Moringa oleifera* liofilizada

Os valores médios de pH amostrados nesta etapa do estudo foram plotados e encontram-se na Figura 36.

FIGURA 36 - Dados médios de pH aferidos durante teste físico-químico utilizando por 100 dias a mesma solução salina à base de *Moringa oleifera* liofilizada.



FONTE: O autor (2021).

Inicialmente ao analisar os dados de pH da Figura 36 é possível ver que os valores aferidos no primeiro dia de análise são superiores a todos os demais valores amostrados ao testar a mesma solução liofilizada nos dias subsequentes. Também é possível observar que neste primeiro dia de análise os valores oscilaram bastante ao decorrer da sedimentação atingindo uma amplitude de 0,3 na escala de pH. Tais comportamentos são distintos dos observados para os demais dias.

Para os demais dias onde a solução de *Moringa oleifera* liofilizada foi testada, os valores médios amostrados permaneceram sempre entre 6,9 e 7,1, com exceção da primeira análise do 60º dia onde o pH correspondeu a 7,3 e também aos 25 minutos de sedimentação do 15º dia onde o valor médio foi de 6,8.

O tratamento nomeado G8, correspondente ao 100º dia de análise, foi o dia em que a solução de *Moringa oleifera* liofilizada atingiu os menores valores de pH, variando entre 6,9 e 7,0, valores bem próximos aos amostrados nos demais dias de ensaio.

De maneira geral os valores de pH não tiveram grandes oscilações ao decorrer do processo de sedimentação mantendo-se estáveis e também próximos ao valor do pH original da água bem como ao valor de neutralidade durante os cem dias.

Os dados de pH amostrados nesta etapa da pesquisa foram submetidos à análise estatística ANOVA e posteriormente ao teste de Scott-Knott, ambos à uma significância de 5%. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 28.

TABELA 27 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de pH aferidos em tratamentos utilizando por 100 dias a solução coagulante à base de *Moringa oleifera* liofilizada.

Tratamento	Dia	Tempo de sedimentação (minutos)						
		5	10	15	20	25	30	40
E1	1	7,5a	7,3a	7,5a	7,4a	7,4a	7,6a	7,5a
E2	15	7,0c	7,0a	7,0b	7,0b	6,8c	7,0b	7,0b
E3	30	7,1c	7,1a	7,1b	7,0b	7,0b	7,0b	7,0b
E4	45	7,1c	7,1a	7,1b	7,1b	7,1b	7,1b	7,1b
E5	60	7,3b	7,2a	7,1b	7,1b	7,1b	7,1b	7,1b

E6	75	7,1c	7,0a	7,0b	7,0b	7,0b	7,1b	7,0b
E7	90	7,1c	7,1a	7,1b	7,1b	7,1b	7,1b	7,1b
E8	100	7,0c	7,0a	6,9b	7,0b	7,0b	7,0b	6,9b
Erro Padrão		0,03	0,04	0,03	0,03	0,09	0,03	0,03

FONTE: O autor (2021).

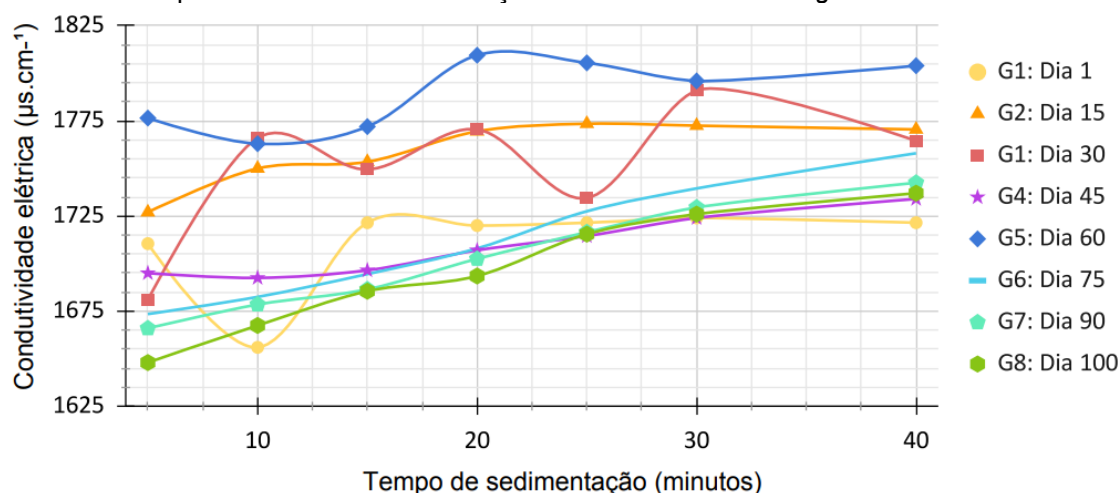
LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Após análise estatística foi observado que, isentando os valores dos 10 minutos de sedimentação, em todos os demais foi observado algum grau de diferença significativa entre os valores dos diferentes tratamentos, devendo-se especialmente ao primeiro dia de análises onde o pH encontrava-se mais elevado em relação aos dias subsequentes.

Porém, apesar da análise de multivariância indicar a existência de diferença entre os valores, ressalta-se que todos mantiveram-se próximos a 7,0, precisamente o valor de pH correspondente a neutralidade.

Os dados médios de condutividade elétrica coletados durante o período de teste com a solução de *Moringa oleifera* liofilizada foram plotados e encontram-se na Figura 37.

FIGURA 37 - Dados médios de condutividade elétrica aferidos durante teste físico-químico utilizando por 100 dias a mesma solução salina à base de *Moringa oleifera* liofilizada.



FONTE: O autor (2021).

Ao analisar os valores médios de condutividade elétrica, os tratamentos G1, G2, G3 e G5 corresponderam aos dias com maior variação no parâmetro, bem como aos valores mais elevados amostrados. Nos demais dias de análise

notou-se um aumento contínuo no valor do parâmetro, porém sem tantas oscilações.

O valor inicial médio do primeiro dia de análise (G1) foi de $1710,5 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e após algumas oscilações ao decorrer do processo de sedimentação a partir dos 15 minutos observou-se valor médio de $1721,5 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ valor também amostrado ao final do ensaio.

Ao 15º dia os valores de condutividade elétrica apresentaram-se mais elevados quando comparados aos valores do primeiro dia, encontrando-se entre $1727 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $1770,5 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$. O ensaio realizado no 30º dia também apresentou elevados valores de condutividade elétrica em comparação com os demais tratamentos ao passo que foi o tratamento que mais oscilou ao decorrer da sedimentação, iniciando o processo com $1681 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$, atingindo valor máximo de $1791 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ (30 minutos) e encerrando o ensaio com $1764,5 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Também se destaca o ensaio realizado ao 60º dia (G5) onde, além de serem observadas oscilações nos valores médios, correspondeu ao dia onde as maiores médias foram amostradas iniciando em $1776,5 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ (5 minutos) atingindo $1809,5 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ aos 20 minutos de sedimentação, sendo esse o maior valor de condutividade amostrado, e por fim, encerrando o ensaio com $1804 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e sendo o único dia onde as médias ficaram acima de $1800 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Os demais ensaios (G4, G6, G7 e G8) tiveram comportamentos semelhantes durante o período de sedimentação iniciando com valores entre $1648 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $1695 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$, aumentando ao decorrer do processo e finalizando entre $1734 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ e $1758 \mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Os valores de condutividade elétrica aferidos nesta etapa do estudo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e posteriormente ao teste de Scott-Knott, ambos à uma significância de 5%. Os resultados obtidos após a realização das análises estão dispostos na Tabela 29.

TABELA 28 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos utilizando por 100 dias a solução coagulante à base de *Moringa oleifera* liofilizada

Tratamento	Dia	Tempo de sedimentação (minutos)						
		5	10	15	20	25	30	40
G1	1	1710,5b	1656,0b	1721,5b	1720,0b	1721,5b	1724,0b	1721,5b

G2	15	1727,0b	1750,0a	1753,5a	1769,5a	1773,5a	1772,5a	1770,5a
G3	30	1681,0c	1766,0a	1749,5a	1770,5a	1734,5a	1791,0a	1764,5a
G4	45	1695,0c	1692,5b	1696,5c	1707,0b	1714,5b	1724,0b	1734,0b
G5	60	1776,5a	1763,0a	1772,0a	1809,5a	1805,5a	1796,0a	1804,0a
G6	75	1673,5c	1682,5b	1694,5c	1708,0b	1727,5b	1739,5b	1758,0b
G7	90	1666,0c	1678,5b	1686,5c	1702,5b	1716,5b	1729,5b	1742,5b
G8	100	1648,0c	1667,5b	1685,5c	1693,5b	1715,5b	1726,0b	1737,0b
Erro Padrão		1,53	1,67	2,17	1,42	2,18	1,44	1,41

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

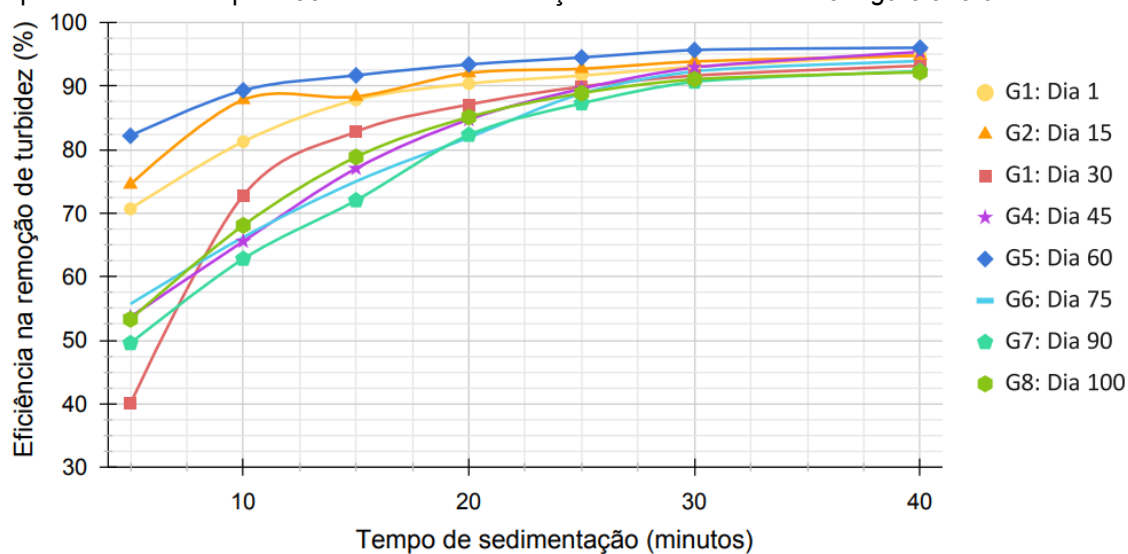
Após realização da análise estatística observou-se ao 60º dia os valores de condutividade elétrica mais elevados, apresentando, durante todos os tempos de sedimentação, diferença estatística para com os demais dias de ensaio.

Entretanto, comparando especialmente os ensaios dos primeiros quinze dias (G1 e G2) com G7 (90º dia) e G8 (100º dia) nota-se que poucas foram as diferenças significativas e nas interações em que ocorreram as diferenças foram motivadas pelo maior valor do parâmetro nos primeiros quinze dias em relação aos valores de G7 e G8.

Desta forma, conclui-se que a solução orgânica à base de *Moringa oleifera* liofilizada ao ser utilizada como agente coagulante no tratamento de água não tem a capacidade de aumentar a condutividade elétrica ao passo que está a mais tempo armazenada.

Os valores médios de turbidez medidos ao decorrer dos ensaios foram relacionados com o valor da turbidez inicial da água submetida ao tratamento (100 NTU) e posteriormente os percentuais referentes à eficiência dos tratamentos na remoção da turbidez foram plotados e encontram-se na Figura 38.

FIGURA 38 - Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos durante teste físico-químico utilizando por 100 dias a mesma solução salina à base de *Moringa oleifera* liofilizada.



FONTE: O autor (2021).

Primeiramente é possível observar que, apesar dos tratamentos apresentarem uma amplitude de 42% na remoção de turbidez aos 5 minutos de sedimentação, ao decorrer do processo todos os tratamentos tenderam e alcançaram eficiências na remoção de turbidez acima de 90% e a amplitude foi diminuída para 4%.

Os dois primeiros ensaios realizados no dia 1 (G1) e no dia 15 (G2) após a liofilização da solução de *Moringa oleifera* atingiram elevadas remoções de turbidez já aos 5 minutos de sedimentação, sendo estas de 71% (G1) e 75% (G2) ao decorrer da sedimentação as eficiências foram constantemente elevadas e em ambos os dias encerraram os ensaios com 95% de remoção de turbidez.

O terceiro ensaio realizado (G3: Dia 30) resultou na menor eficiência de remoção inicial da turbidez, sendo esta de 40%, porém logo na análise seguinte a eficiência teve um grande aumento, removendo 73% da turbidez. Nas análises seguintes foi observado um aumento contínuo na remoção que resultou em um valor final de 93% (40 minutos).

Destaca-se o quinto ensaio realizado (G5: Dia 60), pois foi o dia em que observou as maiores médias de remoção da turbidez em todos os tempos de análise, iniciando a sedimentação com 82% elevando-se em todos os tempos seguintes e encerrando com eficiência na remoção de turbidez igual a 96%.

Por fim, observa-se que os tratamentos realizados a partir do dia 45, com exceção do G5, tiveram comportamentos semelhantes, apresentando remoções de 54% (G4), 56% (G6), 50% (G7) e 53% (G8) aos 5 minutos de sedimentação, sendo a maior amplitude entre eles de 7% aos 15 minutos de sedimentação. A solução liofilizada encerrou os quatro ensaios com eficiências na remoção de turbidez iguais a 95% (G4), 94% (G6) 92% (G7) e 92% (G8).

O comportamento semelhante entre quatro dos cinco últimos ensaios pode ser um indicativo da diminuição da eficiência da solução liofilizada nos primeiros momentos da sedimentação, porém ao decorrer do processo em todos os dias de ensaio as eficiências finais foram satisfatórias e semelhantes entre si.

Os valores percentuais de eficiência na remoção de turbidez amostrados durante esta fase da pesquisa foram submetidos à análise estatística ANOVA e ao teste de Scott-Knott, ambos à uma significância de 5% e posteriormente os resultados obtidos foram dispostos na Tabela 30.

TABELA 29 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de remoção de turbidez aferidos em tratamentos utilizando por 100 dias a solução coagulante à base de *Moringa oleifera* liofilizada

Tratamento	Dia	Tempo de sedimentação (minutos)						
		5	10	15	20	25	30	40
G1	1	71b	81a	88a	90a	92a	93b	95a
G2	15	75b	88a	88a	92a	93a	94b	95a
G3	30	40e	73b	83b	87b	90b	92c	93b
G4	45	54c	66b	77c	85b	90b	93b	95a
G5	60	82 ^a	89a	92a	93a	95a	96a	96a
G6	75	56c	66b	75c	82c	89b	92c	94b
G7	90	50d	63b	72c	82c	87c	91c	92b
G8	100	53c	68b	79c	85b	89b	91c	92b
Erro Padrão		1,54	4,74	1,82	1,25	1,45	0,54	0,37

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Ao verificar as interações resultantes da análise estatística observou-se que o tratamento com as melhores eficiências foi o realizado ao 60º dia de análise, o mesmo tratamento que resultou em elevados valores de condutividade elétrica, indicando que a maior salinidade aferida neste dia pode ter facilitado

uma maior solubilidade da proteína de *Moringa oleifera* e, por conseguinte, resultando em melhores eficiências de remoção da turbidez.

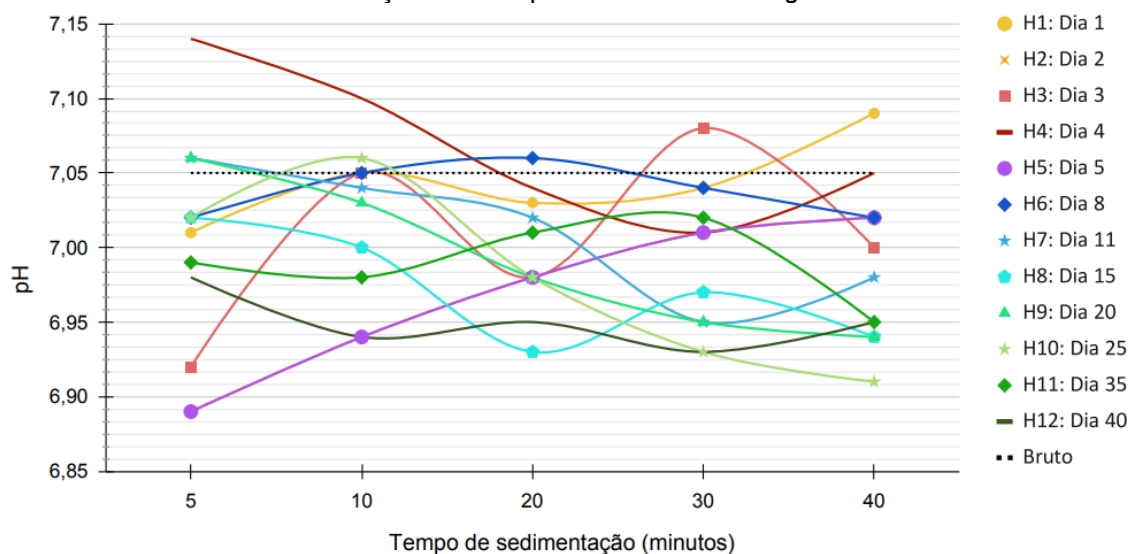
Também foi averiguado que nos primeiros dias a solução coagulante liofilizada tinha a capacidade de atingir remoções mais elevadas com um menor tempo de sedimentação, desta forma observou-se aos 5 minutos de sedimentação a divisão dos tratamentos em cinco diferentes grupos estatísticos ordenados por Scott-Knott em: *a* (G5); *b* (G1 e G2); *c* (G4, G6 e G8); *d* (G7); e *e* (G3). Já aos 40 minutos de sedimentação os tratamentos foram divididos em apenas dois grupos: *a* (G1, G2, G4 e G5) e *b* (G3, G6, G7 e G8).

Isto posto, conclui-se que ao passar do tempo a solução coagulante liofilizada perde ligeiramente sua capacidade coagulante, especialmente nos primeiros minutos de sedimentação, porém ao decorrer do processo de decantação tem as eficiências aumentadas e consegue atingir percentuais bem próximos aos observados até o 60º dia de análise.

4.4.3.2 Solução coagulante salina líquida à base de *Moringa oleifera*

Os valores médios de pH amostrados ao decorrer do teste de eficiência da solução salina líquida à base de *Moringa oleifera* estão apresentados graficamente na Figura 39.

FIGURA 39 - Dados médios de pH aferidos durante teste físico-químico utilizando por 40 dias a mesma solução salina líquida à base de *Moringa oleifera*.



FONTE: O autor (2021).

Ao analisar os valores médios de pH dispostos na Figura 39 pode-se notar que os valores sofreram oscilações ao decorrer do processo de sedimentação, porém em relação ao pH neutro (pH=7) tiveram variação de +0,14 e -0,11, valores ainda considerados de caráter neutro.

Também é possível observar que a maior parte dos dados médios se encontram abaixo do valor do pH inicial (pH=7,05) da água submetida ao tratamento, diminuindo em até 0,16 o parâmetro (H5: Dia 5).

Apesar das muitas oscilações observadas ao decorrer dos ensaios é possível observar a partir dos 30 minutos de sedimentação que os testes realizados até o dia 8 (H6) após a obtenção da solução salina líquida resultaram em valores de pH entre 7,00 e 7,09, enquanto que os valores amostrados a partir do dia 11 (H7) retornaram valores entre 6,91 e 7,05, indicando um possível fator acidificante à medida que a solução salina se degrada e fica mais antiga.

Os valores de pH aferidos ao decorrer do experimento foram submetidos à análise estatística ANOVA e posteriormente o teste de Scott-Knott, ambos à uma significância de 5%. Os resultados das análises estão dispostos na Tabela 31.

TABELA 30 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de pH aferidos em tratamentos utilizando por 40 dias a solução coagulante líquida à base de *Moringa oleifera*.

Tratamento	Dia	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	20	30	40
H1	1	7,01b	7,05a	7,03a	7,04a	7,09a
H2	2	6,89d	6,94b	6,98a	7,01a	7,02a
H3	3	6,92c	7,05a	6,98a	7,08a	7,00a
H4	4	7,14a	7,10a	7,04a	7,01a	7,05a
H5	5	6,89d	6,94b	6,98a	7,01a	7,02a
H6	8	7,02b	7,05a	7,06a	7,04a	7,02a
H7	11	7,06b	7,04a	7,02a	6,95a	6,98b
H8	15	7,02b	7,00a	6,93a	6,97a	6,94b
H9	20	7,06b	7,03a	6,98a	6,95b	6,94b
H10	25	7,02b	7,06a	6,98a	6,93b	6,91b
H11	35	6,99c	6,98b	7,01a	7,02a	6,95b
H12	40	6,98c	6,94b	6,95a	6,93b	6,95b
Erro Padrão		0,03	0,04	0,03	0,03	0,03

FONTE: O autor (2021).

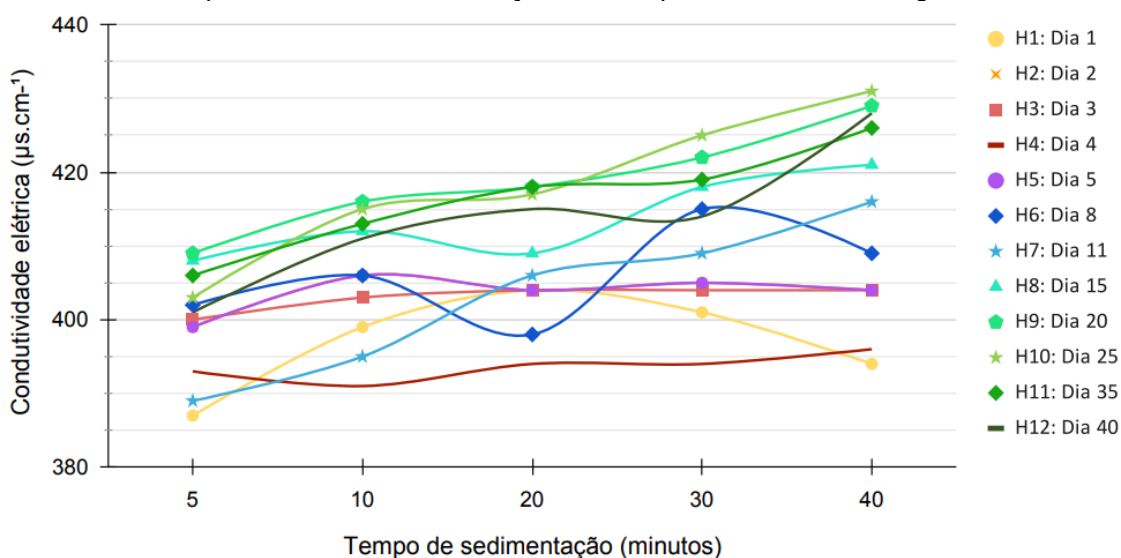
LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Nos primeiros minutos de sedimentação é possível observar a divisão dos tratamentos em quatro diferentes grupos estatísticos (*a*, *b*, *c*, e *d*), porém nos tempos subsequentes as diferenças entre os valores aferidos diminuí, desta forma nos tempos de 10, 20, 30 e 40 minutos de sedimentação os tratamentos dividem-se em apenas em dois grupos (*a* e *b*).

A maior oscilação dos valores de pH no início da sedimentação deve-se aos recentes processos de coagulação e floculação onde os agentes coagulantes interagiram com a água auxiliados pela agitação mecânica, desta forma a solução encontrava-se ligeiramente desestabilizada. Ao decorrer do processo de sedimentação a solução aproximou-se do equilíbrio, desta forma o pH também se estabilizou.

Os valores médios de condutividade elétrica medidos nas análises realizadas no período de 40 dias estão dispostos graficamente na Figura 40.

FIGURA 40 - Dados médios de condutividade elétrica aferidos durante teste físico-químico utilizando por 40 dias a mesma solução salina líquida à base de *Moringa oleifera*.



FONTE: O autor (2021).

De maneira geral é possível observar que todos os dias que foram realizados ensaios utilizando a solução líquida de *Moringa oleifera* os valores iniciais foram em sua maioria menores que os valores finais dos respectivos dias.

Também foi possível observar que quanto mais recente era a solução líquida menor eram os valores médios de condutividade elétrica aferidos, indicando que após obtida a solução os íons provenientes do cloreto de sódio ainda continuavam se solubilizando na solução.

Considerando todos os dias de ensaio para a primeira análise os valores de condutividade elétrica ficaram entre $387 \mu\text{s.cm}^{-1}$ e $409 \mu\text{s.cm}^{-1}$, como todos os dias foi observado um comportamento crescente no valor de condutividade elétrica, este intervalo no último tempo de análise, aos 40 minutos de sedimentação, passou a ser de $394 \mu\text{s.cm}^{-1}$ a $431 \mu\text{s.cm}^{-1}$.

Os valores de condutividade elétrica aferidos foram submetidos à análise estatística à uma significância de 5% e os resultados encontram-se na Tabela 32.

TABELA 31 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados de condutividade elétrica aferidos em tratamentos utilizando por 40 dias a solução coagulante líquida à base de *Moringa oleifera*.

Tratamento	Di a	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	15	20	25
H1	1	387,0	399,0	404,0	401,0	394,0
H2	2	399	406	404	405	404
H3	3	400	403	404	404	404
H4	4	393,0	391,0	394,0	394,0	396,0
H5	5	399	406	404	405	404
H6	8	402,0	406,0	398,0	415,0	409,0
H7	11	389	395	406	409	416
H8	15	408	412	409	418	421
H9	20	409,0	416,0	418,0	422,0	429,0
H10	25	403	415	417	425	431
H11	35	406,0	413,0	418,0	419,0	426,0
H12	40	401	411	415	414	428

Erro Padrão

FONTE: O autor (2021).

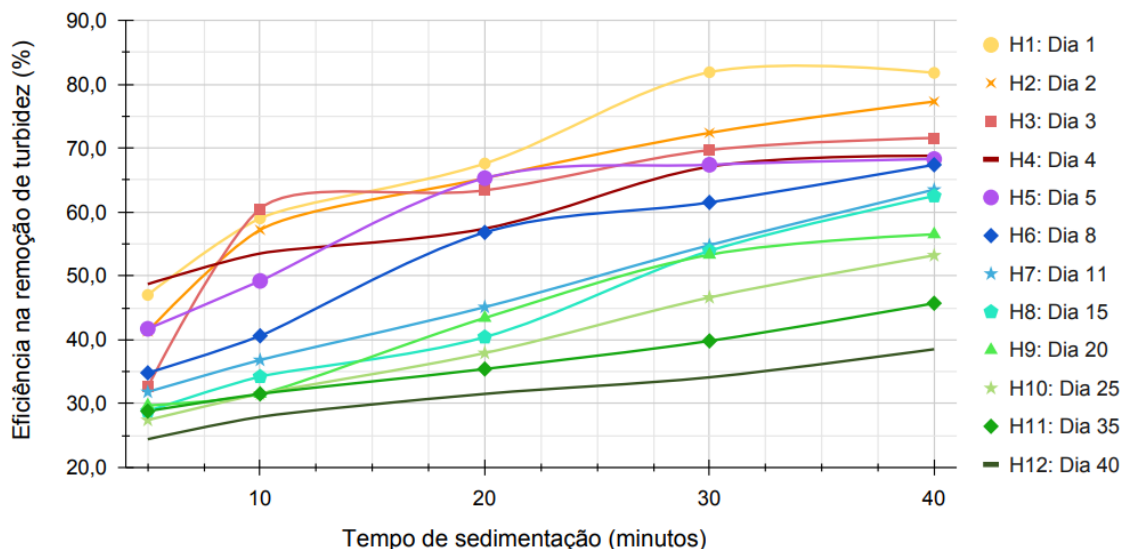
LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Após a realização das análises estatísticas verificou-se que com o passar do tempo a solução líquida de *Moringa oleifera*, mesmo armazenada sob

refrigeração, apresentou aumento significativo no valor da condutividade elétrica, especialmente no oitavo após sua obtenção.

Os valores médios de turbidez foram relacionados com o valor inicial da turbidez da água submetida ao tratamento e os percentuais provenientes desta interação estão dispostos graficamente na Figura 41.

Figura 41 - Dados percentuais médios de remoção de turbidez aferidos durante teste físico-químico utilizando por 40 dias a mesma solução salina líquida à base de *Moringa oleifera*.



FONTE: O autor (2021).

Inicialmente observa-se que na primeira análise as eficiências de remoção calculadas encontravam-se entre 24% e 49%. Ao decorrer do processo de sedimentação foi observado aumento nas eficiências amostradas em todos os dias fazendo com que aos 40 minutos de sedimentação os percentuais estivessem entre 38% e 82%.

Também é possível notar que quanto mais recente era a solução líquida empregada para o tratamento da água maior era a remoção de turbidez logo na primeira análise, este mesmo padrão pode ser observado igualmente nos tempos seguintes até os 40 minutos de sedimentação. Ademais, a partir dos 30 foi possível visualizar que quanto mais recente se encontrava a solução coagulante, maiores eram as porcentagens de remoção calculadas.

Os percentuais de eficiência na remoção de turbidez aferidos durante quarenta dias para o tratamento de água com uma única solução de *Moringa oleifera* foram submetidos à análise de variância (ANOVA) à uma significância de 5%, e caso houvesse indicação de diferença significativa ($p < 0,05$) os dados

seriam submetidos ao teste de multivariância Scott-Knott também à significância de 5%. Os resultados obtidos após análise estatística estão dispostos na Tabela 33.

TABELA 32 - Teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) para dados percentuais de remoção de turbidez aferidos em tratamentos utilizando por 40 dias a solução coagulante líquida à base de *Moringa oleifera*.

Tratamento	Dia	Tempo de sedimentação (minutos)				
		5	10	20	30	40
H1	1	47,0b	59,0a	67,6a	81,9a	81,8a
H2	2	41,3c	57,2a	65,3a	72,4b	77,3b
H3	3	32,6d	60,5a	63,4a	69,7c	71,6c
H4	4	48,7 ^a	53,5a	57,4b	67,1d	68,8d
H5	5	41,7c	49,2b	65,3a	67,4d	68,3d
H6	8	34,8d	40,6c	56,8b	61,5e	67,4d
H7	11	31,8d	36,8c	45,1c	54,8f	63,5e
H8	15	28,8e	34,2c	40,4d	53,9f	62,5e
H9	20	29,7e	31,5d	43,4c	53,3f	56,5f
H10	25	27,4e	31,5d	37,9e	46,6g	53,2g
H11	35	28,8e	31,5d	35,4e	39,8h	45,7h
H12	40	24,4e	27,9e	31,5f	34,1i	38,5i
Erro Padrão		1,54	4,74	1,25	0,53	0,74

FONTE: O autor (2021).

LEGENDA: a, b, ...: Diferentes letras minúsculas nas colunas indicam diferença estatística entre tratamentos no mesmo tempo de sedimentação; Letras iguais não diferem entre si estatisticamente.

Realizada a análise estatística constatou-se grande quantidade de diferença significativa entre os percentuais de eficiência entre todos os tratamentos nos cinco tempos de sedimentação.

Ao averiguar as diferenças significativas apontadas para o primeiro tempo de análise (5 minutos de sedimentação) observa-se a distribuição dos tratamentos em cinco diferentes grupos estatísticos (*a, b, c, d e e*), sendo H4 (4^o dia) o tratamento com maior eficiência dos primeiros 5 minutos de sedimentação e H8, H9, H10, H11 e H12 os tratamentos menos eficientes para o mesmo tempo de análise.

Ao decorrer do processo de sedimentação é possível notar o aumento na diferença estatística entre as eficiências dos dias em que a solução salina líquida foi testada.

Desta forma, aos 40 minutos de sedimentação observa-se que os tratamentos foram distribuídos em nove grupos estatísticos, sendo H1 o mais eficaz e, ao passo que a solução de *Moringa oleifera* foi sendo testada mais tardiamente, menores foram as eficiências na remoção de turbidez que ela conseguiu proporcionar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final da pesquisa concluiu-se que é possível obter solução coagulante à base de extração da proteína da semente de *Moringa oleifera* tanto via Soxhlet quanto pelo processamento para obtenção da solução salina líquida e também solução salina liofilizada. As soluções obtidas por estes métodos mostraram possuir efeito coagulante ao serem submetidas aos processos de coagulação, floculação e sedimentação, sendo a solução salina liofilizada na concentração de 1 g.L⁻¹ a mais eficiente, reduzindo em 87% a turbidez da água ao passo que manteve o pH em conformidade com a Norma Regulamentadora 10.818 de 2016.

Ao associar a solução salina liofilizada com o sulfato de alumínio em diferentes proporções e submetê-las a testes físico-químicos em Jar-Test identificou-se que a proporção de coagulante orgânico e inorgânico de 3:7 não foi capaz de alterar o pH e a temperatura. O mesmo tratamento ainda removeu 98% da turbidez desempenho igualmente estatístico quanto ao tratamento onde utilizou-se apenas o coagulante inorgânico. Desta forma, chegou-se a uma formulação coagulante que reduz em 30% a utilização de sulfato de alumínio ao mesmo tempo que a eficiência do tratamento não é suprimida.

Com o desenvolvimento de uma cápsula oca e porosa de barbotina para auxiliar na aplicação da formulação coagulante na água a ser tratada e submetendo-se a cápsula a testes de liberação variando o estado da formulação (em pó e diluída) e também a profundidade em relação a coluna d'água (submersa ou em superfície) concluiu-se que independente do estado da formulação, o melhor cenário para aplicação da cápsula porosa contendo o coagulante foi na superfície.

Verificou-se que tanto na presença quanto na ausência de agitação os tratamentos não possuíam capacidade de alterar o pH, alcalinidade total e dureza total. Porém, em relação a condutividade elétrica foram observados valores mais elevados onde os tratamentos não possuíam auxílio da agitação.

Quanto à eficiência na remoção de turbidez todos foram estatisticamente melhores frente ao teste de controle, e dentre os quatro tratamentos, três foram estatisticamente iguais, sendo: cápsula com formulação em pó em meio sob

agitação (96%); cápsula com formulação líquida e meio sob agitação (91%); e cápsula com formulação em pó em meio inerte (90%).

Isto posto, indica-se a utilização das formulações coagulantes em pó ou diluída desde que a água sob tratamento esteja ocasionalmente sob agitação.

Em relação aos testes de aperfeiçoamento da formulação coagulante onde investigou-se o ano de colheita da semente de *Moringa oleifera* utilizada, a variação da concentração de cloreto de sódio na solução e onde também se fez o teste de prateleira envolvendo a solução líquida e a solução liofilizada foi possível concluir que, armazenadas sob refrigeração, as sementes colhidas em diferentes anos não causaram alteração na capacidade coagulante da solução salina.

Quanto à variação da concentração de cloreto de sódio na solução coagulante aferiu-se que o sal exerce papel importante na eficiência de clarificação da água. Foi averiguado que quando a variação ocorre abaixo de $14,6 \text{ mgNaCl.L}^{-1}$ a capacidade coagulante da solução decai proporcionalmente à diminuição do sal e quando acima de $19,78 \text{ mgNaCl.L}^{-1}$ a adição do sal não ocasiona melhora significativa no desempenho da solução. Desta forma, indica-se a utilização de $19,78 \text{ mgNaCl.L}^{-1}$ na obtenção da solução coagulante salina à base de *Moringa oleifera*.

Por fim, em relação ao teste de prateleira verificou-se que, mesmo sob refrigeração, a solução salina líquida perde rapidamente sua capacidade coagulante variando a eficiência na remoção de turbidez de 81% (dia 1) a 38% (dia 40). Quanto à solução salina liofilizada (1 g.L^{-1}) aferiu-se que durante os cem dias de acompanhamento a eficiência na remoção de turbidez se manteve acima de 92% ao passo que não conferiu alterações relevantes ao pH e à condutividade elétrica.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar do montante de dados e resultados oriundos do presente estudo é necessária continuidade nas pesquisas para o aperfeiçoamento das demais características da formulação coagulante e, principalmente, da cápsula porosa de barbotina que, apesar de se mostrar um protótipo com potencial, ser aprimorado.

Desta forma, recomenda-se a realização de testes laboratoriais e diferentes métodos de manipulação polimérica que aumentem a resistência da cápsula, bem como análises que explorem sua estrutura porosa visando aproximar-se da estrutura ideal que associe armazenamento e lenta liberação do material interno.

Quanto à formulação coagulante, são recomendados testes físico-químicos utilizando água com baixa turbidez ou até mesmo água proveniente de piscina a fim de verificar se as eficiências do presente estudo se mantêm em diferentes cenários.

Recomenda-se também a realização de novos testes físico-químicos em maior escala utilizando a cápsula porosa associada à formulação coagulante com as diferentes concentrações de NaCl testadas em Jar-Test com o intuito de averiguar se a eficiência no tratamento se mantêm ao tratar maiores volumes de água.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. S. **Desenvolvimento de medidor de condutividade elétrica da água para fins de monitoramento ambiental**. 2016. 60 f. Monografia (Graduação em Engenharia Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ANDRADE, P. V. **Uso da semente de *Moringa oleifera* como coagulante no tratamento terciário de efluente sanitário**. 2021. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2021.

ANGERAMI, L. A. T.; VIEIRA, T. C.; STREFEZZI, R. D F. Exposição de educadores físicos aos efeitos dos trihalometanos presentes em piscina de recreação clorada e o controle dos radicais livres através dos antioxidantes. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 1, n. 3, p. 01-17, mai./jun. 2007. Disponível em: <http://www.rbne.com.br/index.php/rbne/article/view/22/21>. Acesso em: 16 mai. 2021.

American Public Health Association (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22ªed. Washington, D.C.: APHA, 2017.

ARANTES, C. C.; RIBEIRO, T. A.; PATERNIANI, J. E. S. Gestão e Controle Ambiental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 6, jun/2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000600011>. Acesso em: 15 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10818: Qualidade da água de piscinas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BALBINOTI, J. R. *et al.* Uso de sementes de *Moringa oleifera* como agente coagulante para o tratamento de água. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 5, p. 1748-1760, 2018.

BANJO, O. S. Growth and Performance as affected by inclusion of *Moringa oleifera* leaf meal in Broiler chicks diet. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**. v. 2, n. 9, p. 35 – 39, 2012. Disponível em: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JBAH/article/view/3038/3080>. Acesso em: 22 abr. 2021.

BARBOSA, G. M. **Processo de clarificação convencional combinado com microfiltração visando ao reúso de efluente da indústria sucroalcooleira**. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://tpqb.eq.ufrj.br/download/reuso-de-efluente-da-industria-sucroalcooleira.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2021.

BARRADAS, J. L. D. Tanino – Uma solução ecologicamente correta: agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água. **Publicação Técnica**. Novo Hamburgo, 2004.

BEZERRA, A.M.E.; MOMENTÉ, V.G.; MEDEIROS FILHO, S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 295 – 299, abr./jun.2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/hb/v22n2/21034.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

BONGIOVANI M. C. *et al.* Os benefícios da utilização de coagulantes naturais para a obtenção de água potável. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p. 167 – 170, 2010. DOI: 10.4025/actascitechnol.v32i2.8238.

BORBA, R. L. **Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal da Paraíba, 2001. Disponível em:

<http://186.202.79.107/download/clarificacao-de-agua-de-abastecimento-publico.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BRAGA, F. P. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água do município de Juiz de Fora – MG**. 70 f. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Área: Tratamento de Águas. Faculdade de Engenharia – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

BRAILE, P.M. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 764 f. São Paulo: CETESB, 1993.

BRASIL PISCINAS. **Os problemas do sulfato de alumínio**. Disponível em: <https://brasilpiscinas.com.br/os-problemas-do-sulfato-de-aluminio/>. Acesso em: 22 de abr. 2020.

BRATBY, J. **Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment**. 450p. 2ª Ed. 2006. ISBN: 9781843391067.

BUTIÃO, D. F. **Formação de subprodutos orgânicos halogenados da desinfecção em águas de piscinas**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Ribeirão Preto. Ribeirão Preto, 2011. Disponível em: <https://www.unaerp.br/documentos/501-deborah-fachina-butiao/file>. Acesso em: 28 abr. 2020.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9ª Ed. LTC, 884p., 2016.

CAMACHO-OVIEDO, H. *et al.* Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum L*) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo. **Investigación e Innovación en Ingenierías**. v. 8, n. 1, p. 100 – 111, jan./jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>. Acesso em: 5 mai. 2021.

CARTER C. B.; NORTON, M. G. **Ceramic Materials: Science and Engineering**. Nova York: Springer, 728p., 2007.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Maringá, 2008.

CARVALHO, M. S. *et al.* CaCl₂ applied to the extraction of Moringa oleifera seeds and the use for Microcystis aeruginosa removal. **Chemical Engineering Journal**, v. 304, p. 469-475, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.06.101>. Acesso em: 4 jun. 2021.

CAVALCANTE, L. S., *et al.* Caracterização físico-química e análise térmica do óleo da semente de *Moringa oleifera*. In: **57º Congresso Brasileiro de Química**. Gramado, Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <http://www.abq.org.br/cbq/2017/trabalhos/7/11131-19995.html>. Acesso em: 23 abr. 2020.

CHOY, S. Y. *et al.* Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. **Journal of Environmental Sciences**, v. 26, n. 11, p. 2178-2189, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.024>. Acesso em 11 ago. 2021.

CHRISTIANO, V.; SMARANDACHE, F. A On the Efficacy of *Moringa oleifera* as Anticancer Treatment: A Literature Survey. **BAOJ Cancer Research & Therapy**. v. 5, ed. 2, p. 69 – 74, 2020. Disponível em: <https://bioaccent.org/cancer-sciences/cancer-sciences69.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2020.

CHUMARK, P. *et al.* The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam. leaves. **Journal of Ethnopharmacology**. Ireland, v. 116, p. 439 – 446, 2008. DOI:10.1016/j.jep.2007.12.010.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378874107006721>. Acesso em: 23 mai. 2020.

CORALA, L. A.; BERGAMASCO R.; BASSETTIC, F. J. Estudo da Viabilidade de Utilização do Polímero Natural (TANFLOC) em Substituição ao Sulfato de Alumínio no Tratamento de Águas para Consumo. *In: 2nd International Workshop | Advances in Cleaner Production*. São Paulo – Brasil, 2009.

CORREA, C. Z. et al. Nitrification/denitrification of real municipal wastewater in an intermittently aerated structured bed reactor. *Journal of Water Process Engineering*, v. 23, p. 134-141, 2018.

COSTA, G. H. *et al.* Extrato de sementes de moringa como floculante de caldo de cana-de-açúcar **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 51, n. 10, p. 1794-1798, out. 2016 DOI: 10.1590/S0100-204X2016001000012.

CRUZ, J. G. H. *et al.* Aplicação de coagulante vegetal à base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial. **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p.18 – 23, Campo Grande, set. 2005.

DA COSTA, E. F. **Alumina porosa para liberação controlada de fármacos**. 61 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina - Brasil, 2019. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4508/1/LD_PPGCEM_M_Costa%2C_Eduardo_Fabiano_da_2019.pdf. Acesso em: 23 mai. 2020.

DAVIS, M.L. **Water and wastewater engineering: design principles and practice**. New York: McGraw-Hill, 1301 p. 2010. ISBN: 978-0-07-171385-6. 2010.

DI BERNARDO, L. (Coord) et al. **Tratamento de Água para Abastecimento por filtração direta**. São Carlos: ABES, RiMa. Projeto PROSAB 491p., 2005.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 3. ed. São Paulo: LDiBe, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532011000400001&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 30 abr. 2020.

Du, Q. H. *et al.* Extraction concentration of NaCl on structural, physicochemical and functional properties of *Moringa oleifera* seeds protein., **LWT**, v. 155, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821021411>. Acesso em 20 ago. 2021.

EGUCHI, C. S. Y; ARANTEZ, C. C. Clarificação de água superficial com baixos valores de turbidez e cor aparente utilizando extrato de sementes de *Moringa oleifera* e sulfato de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**. v. 4, n. 2, p.190 – 199, Uberaba, Brasil, 2019.

FAHEY, J. W. *Moringa oleifera*: A Review of the Medical Evidence for Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic Properties. Part 1. **Trees for Life Journal**, 15 p. Dec. 2005. Disponível em: https://smartdrugsmarts.com/wp-content/uploads/2017/10/2005_Fahey_JTreesForLife.pdf. Acesso em: 23 abr. 2020.

FAHEY, J. W. *Moringa oleifera*: A review of the medicinal potential. *In: 1st International Symposium on Moringa*. **International Society for Horticultural Science**. v. 1158, p. 209 – 224, mai. 2017.

FERRARI, C. T. **Uso de coagulantes naturais no tratamento de efluente da indústria de alimentos**. 64 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 10 fev. 2020.

FERREIRA, P. M. P. et al. *Moringa oleifera*: bioactive compounds and nutritional potential. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 21, n. 4, p. 431 – 437, jul./ago. 2008.

FRANCO, L. C. Mercado brasileiro de piscinas cresceu 4,3% em 2018. 1 f. In: 22ª Feira Internacional de Piscinas, Spas, Lazer e Wellness. **Primeira Página**. Ago. 2019. Disponível em: https://www.expolazer.com.br/download/3_EXPOLAZER_Mercado.pdf. Acesso em: 13 jun. 2020.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; DE BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**, Universidade Federal do Ceará. v. 37, n. 1, p. 106 – 109. Ceará, Brasil, 2006.

GASSENSCHMIDT, U. et al. Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochemistry Biophysical Acta**, v. 13, p. 477 – 481, 1995.

Genco Química Industrial Ltda. **Guia prático para tratamento de águas de piscinas residenciais**. 2010. São Paulo. 63p. Disponível em: <www.genco.com.br/downloads/guia-completo.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2021.

GIFONI, J. M. et al. A novel chitin-binding protein from *Moringa oleifera* seed with potencial for plant disease control. **Peptide Science**, v. 98, p. 406 – 415, 2012.

HENZE, M. et al. **Wastewater treatment, biological and chemical processes**. 3. ed. 422 p., Berlin: Springer, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.04.012>. Acesso em: 25 ago. 2021

JAIN, A. et al. Preparation, characterization and functional properties of *M. oleifera* seed protein isolate. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 4, p. 2093-2104. 2019. DOI: 10.1007/s13197-019-03690-0.

KIM, J. **Degradação de filtros solares selecionados, ureia e desinfecção de água de piscina por fotoeletrocatalise combinada com ozonização**. 2018

KURNIAWAN, T. et al. Physico-Chemical Treatment Techniques for Wastewater Laden with Heavy Metals. **Chemical Engineering Journal**. v. 118, p. 83 – 98, mai. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894706000362>. Acesso em: 14 mai. 2020.

LEONE, A. et al. Cultivation, Genetic, Ethnopharmacology, Phytochemistry and Pharmacology of *Moringa oleifera* Leaves: An Overview. **International Journal of Molecular Science**, v. 16, n. 6, p. 12791 – 12835, jun. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4490473/>. Acesso em: 24 abr. 2020.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2005.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010. 496 p., ISBN-10: 8576701650.

LIBANIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 4. ed. Campinas, São Paulo: Átomo, 2016. 640 p., ISBN-10: 8576702711.

LIMA et al. Aplicação da moringa oleifera em tratamento de água com turbidez. **E-xacta**. 2015. Disponível em: http://tede2.unicap.br:8080/bitstream/tede/643/1/niedja_maria_lima.pdf. Acesso em 28 ago. 2021.

LIMA, D. C. N.. Sementes de *Moringa oleifera* Lamark como agente clarificante em suco de maçã. 2017. 1 recurso online (209 p.). Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322765>>. Acesso em: 8 ago. 2021.

LOPES, T. D. P., **Potencial antidermatofítico de *Mo-CBP4*, uma proteína ligante à quitina de sementes de *Moringa oleifera***. 106 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Bioquímica). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/18906>. Acesso em: 23 abr. 2020.

MADRONA, G. S. *et al.* Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. **Acta Scientiarum Technology**, v. 34, n. 3, p. 289 – 293, 2012.

MATOS, A.T. *et al.* Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 544 – 551, 2007.

MENDES, C. G. N. **Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis**. 244 f. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo,, 1989.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4th Ed.: McGraw-Hill, New York, 2003.

MIGUEL, F. C. *et al.* Sementes de *Moringa oleifera*: coagulante natural utilizado no tratamento de efluente de lavanderia têxtil. **In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, p. 536 – 542, João Pessoa, 2017.

MORAES, L. C. J. *et al.* Utilização do polímero natural quitosana no processo de coagulação/floculação/ultrafiltração para a produção de água potável. 8 p. **In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia e Sanitária Ambiental**, Campo Grande – MS. 2005.

JAVED, M. S. *et al.* Isolation and characterization of moringa oleifera I. Flower protein and utilization in functional food bars. **Food Science and Technology**. Campinas, v. 41, n. 3, p 643 – 652, Jul./Set. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/9tGR9mw3Wq7PKjMjg6wjm9K/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 25 jan. 2022.

NDACIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using *Moringa oleifera*. **Water Research**. v. 29, n. 2, p.703 – 710,1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400161Y>>. Acesso em: 8 de mar. 2020.

NKURUNZIZA, T.;*et al.* The effect of turbidity levels and *Moringa oleifera* concentration on the effectiveness of coagulation in water treatment. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 59, n. 8, p. 1551-1558. 2009.

NOWACKI, C. C. B.; RANGEL, M. B. A. **Química ambiental: conceitos, processos e estudo dos impactos ao meio ambiente**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2014. 136 p. ISBN: 9788536509051.

OGERA, R.C.; PHILIPPI JUNIOR, A. Gestão dos serviços de água e esgoto nos municípios de Campinas, Santo André, São José dos Campos e Santos, no período de 1996 a 2000. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 72-81. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522005000100009>. Acesso em: 02 set. 2021.

OHJI, T.; FUKUSHIMA, M. Macro-porous ceramics: Processing and properties. **International Materials Reviews**, v. 57, n. 2, p. 115 –131, 2012.

OKUDA, T. *et al.* Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, v. 33, n. 15, p. 3373 – 3378, 1999.

OLIVEIRA, I.C. *et al.* **Avaliação centesimal da semente de *Moringa oleifera* Lam.** 4 p. Uberaba, 2009. Disponível em: https://iftm.edu.br/pesquisa/revista_2/resumo/alimentos/resumo16.pdf. Acesso em: 22 abr. 2020.

OLSON, M. E.; FAHEY, J. W. *Moringa oleifera*: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. **Rev. Mex. Biodiv.** México, v. 82, n. 4, p. 1071-1082, dez. 2011.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Gestão e Controle Ambiental. **Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental**. v. 13, n. 6, dez. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000600015>. Acesso em: 11 set. 2021.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada.** 233 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. DOI:10.11606/D.18.2001.tde-21012003-084719. Acesso em: 03 mai. 2020.

PEREIRA, E. R. *et al.* Aplicação da *Moringa oleifera* como coagulante natural no tratamento de água de piscina. *In: Encontro Nacional de Moringa*. Maringá. 11 f. Brasil, 2014.

PEREIRA, E. P. *et al.* Granulométrico em sistema de filtração direta para tratamento de água de abastecimento com uso de coagulantes orgânicos e inorgânicos. **Singular**. Meio Ambiente e Agrárias, v. 1, p. 15-20, 2021.

PEREIRA, M. L. **Aspectos estruturais, farmacológicos e toxicológicos de Mo-CBP, uma proteína ligante à quitina de *Moringa oleifera* com atividade anti-inflamatória e antinociceptiva via oral.** 212 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza - Brasil, 2014.

PEZARINO, R. S. **Avaliação da qualidade da água utilizada nos distritos de Campos dos Goytacazes, RJ.** 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto Federal Fluminense. Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água.** 78 f. Monografia. (Formação em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

PINTO, E. R. *et al.* Síntese, caracterização e processamento de hidroxiapatita via consolidação por amido. *In: 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica*. Bento Gonçalves, RS, Brasil. 12p. 2014. Disponível em: www.abceram.org.br/wp-content/uploads/area_associado/58/PDF/02-012.pdf. Acesso em 13 set. 2021.

PIVELI, R. P.; KATO, M. Características físicas das águas: cor, turbidez, sólidos, temperatura, sabor e odor. *In: Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos*. Ed. ABES, Rio de Janeiro, 285 p., 2006.

PRITCHARD, M. *et al.* A study of the parameters affecting the effectiveness of *Moringa oleifera* in drinking water purification. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, n. 13-14, p. 791 – 797, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.020>. Acesso em 15 abr. 2021.

RAJENDRAN, A.; SUDESHRAJ, R.; SURESHKUMAR, S. Phytonutrients: *Moringa oleifera* leaf extracts an incredible health super food supplement. **The Pharma Innovation Journal**. v. 8, n. 2, p. 29-33, India, 2019. Disponível em: <http://www.thepharmajournal.com/archives/2019/vol8issue2/PartA/7-12-76-334.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2020.

RIBEIRO, A. Aplicação da *Moringa oleifera* no tratamento de água para consumo humano Remoção de poluentes por coagulação-floculação. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Projecto. Universidade do Porto. 2010. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/04/Aplica%C3%A7%C3%A3o-da-Moringa-Oleifera-no-Tratamento-de-%C3%81gua-para-Consumo-Humano.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2021.

RIBEIRO, P. A. P. **Utilização da quitosana como auxiliar de coagulação na eta extremoz.** 33f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2019. Disponível em: <http://monografias.ufrn.br/handle/123456789/8952>. Acesso em: 24 mai. 2020.

RICHTER, C. A. **Água:** Métodos e tecnologia de tratamento, 352 f., São Paulo: Editora Blucher, 2009. ISBN-10: 8521204981.

RODRIGUES, A. M.; AQUINO, D. S.; CORDEIRO, L. L. Avaliação de *Aloe arborescens* como coagulante para remoção de cor e turbidez em tratamento convencional de água. **Ingeniería del agua**. v. 24, n. 2, p. 81 – 88, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4995/ia.2020.11562>>. Acesso em: 29 jun 2020.

SALAZAR, P. E. B., IBARRA, D. F. E., MAYOR, G. A. Ozonización del agua de piscinas: una alternativa al método tradicional de cloración **Tecnura**, v. 11, n. 22, 2008, p. 5 – 15 Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia, 2008.

SALGADO, S. R. T. **Estudo dos parâmetros do decaimento do cloro residual em sistema de distribuição da água tratada considerando vazamento.** São Carlos, 2008. 145p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SANTANA, W. A. C.; HAZ, J. E. R. **Alternativa para substitución de coagulantes metálicos aplicando almidón de yuca y *Moringa oleifera* en tratamiento de aguas superficiales.** Monografia (Graduação em Engenharia Química) – Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Guayaquil, Guayaquil - Equador, 2018.

SANTOS FILHO, J. D.; SANTA RITA, E. S. **Gerenciamento do Resíduo Gerado Na Clarificação de água da RLAM.** 54 f. Dissertação (Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2002.

SANTOS, B. *et al.* Life performance evaluation of lyophilized Moringa biocoagulant: An alternative for prolonging the biocoagulant efficiency. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. DOI: 40.10.1002/ep.13538. 2020.

SANTOS, W. N. A. *et al.* Uso do sulfato de alumínio e do tanino vegetal no tratamento de água. *In: X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe*. ISSN 2447-0635. 2018. Disponível em: www.simprod.ufs.br <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10418/2/UsoSulfatoAlum%C3%ADnio.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2021.

SAWYER, C. N., MCCARTY, P. L., PARKIN, G. F. **Chemistry for Environmental Engineering**. 4ª Ed. McGraw-Hill Inc., New York. 658 p. ISBN: 0 07054 978 8. 1994.

SILVA A. L. O. *et al.* Possíveis efeitos do alumínio presente na água tratada. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 1, p. 1413-1420, jan. 2020. ISSN 2525-8761 2020. DOI:10.34117/bjdv6n1-098.

SILVA, J. R.; OLIVEIRA, D. S. . Comparação entre o Coagulante Natural Moringa Oleifera e o Coagulante Químico Sulfato de Alumínio: Levantamento Bibliográfico e Análise da Literatura. **In: Congresso Tecnológico Brasileiro de Água e Energia** - Aqua Energy, 2021.

SILVA, L. B. **Coagulante orgânico Moringa oleifera como alternativa ao uso do coagulante inorgânico sulfato de alumínio no tratamento de água**. 2017. 63 f. Monografia. (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

SILVA, S. N. *et al.* Application of doses of freeze-dried extract from *Moringa oleifera* seeds in water treatment. 8p. **Revista Engenharia na Agricultura**. v.28, p.563-570, 2020 Viçosa, MG, DEA/UFV - DOI: 10.13083/reveng.v29i1.10210.

SILVA, T. S. S da. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 87 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Saúde Pública) - Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/4660>. Acesso em: 01 mai. 2020.

SILVEIRA, T. N. *et al.* Performance de coagulantes orgânicos e inorgânicos por meio de diagrama de coagulação em águas naturais. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. v. 7, n. 1, p. 16 – 25, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/gesta.v7i1.28068>.

SIQUEIRA, A. P. S. *et al.* Análise da performance dos coagulantes naturais moringa oleifera e tanino como alternativa ao sulfato de alumínio para o tratamento de água **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15 n.27; p. 2018. Jun. 2018 DOI: 10.18677/EnciBio_2018A112.

SPINELLI, V. A. **Quitosana, polieletrólito natural para o tratamento de água potável**. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82191>>. Acesso em 15 de abr. 2020.

THEODORO, J. D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano**. 223 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil, 2012. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3645/1/000178868.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2020.

ULLAH, A. *et al.* Crystal structure of mature 2S albumin from *Moringa oleifera* seeds. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v.468, p.365-371, 2015. DOI: 10.1016/j.bbrc.2015.10.087.

VAZ, L. G. L. **Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2009.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, p. 154 – 168, jan. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.09.012>

VIEIRA, A. M. S. *et al.* Use of *Moringa oleifera* seed as natural adsorbent for wastewater treatment. *Water Air Soil Pollution*. **Water Air and Soil Pollution**, v. 206, n. 1, p. 273 – 281, 2010. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11270-009-0104-y>>. Acesso em 23 mai. 2020.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4^a edição Editora UFMG, 2011. 452 p. ISBN: 8 54230 053 X.

VON SPERLING, M. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgoto**. 2. ed. London: IWA Publishing, UK, 2017. 210 p. ISBN: 1 84339 162 7.

WENDLING, C. S.; MATIAS, C. A.; CAMPOS, R. F. F. Diferentes formas de utilização da *Moringa oleifera* lam no tratamento de água. **Revista Extensão em Foco**. v. 7, n. 1, p. 73 – 78,

2019. Disponível em:

<<http://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/extensao/article/viewFile/2078/1016>> Acesso em: 29 jun 2020.

ZHAO, S.; ZHANG, D. A parametric study of supercritical carbon dioxide extraction of oil from *Moringa oleifera* seeds using a response surface methodology. **Separation and Purification Technology**, v. 113, p. 9 – 17, jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.03.041>