

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA**

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THAIS RIBEIRO

**ASSOCIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS A COAGULANTES
ORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVAGEM DE MATERIAIS
PLÁSTICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2019

THAIS RIBEIRO

**ASSOCIAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS A
COAGULANTES ORGÂNICOS NO TRATAMENTO DE
EFLUENTE DE LAVAGEM DE MATERIAIS PLÁSTICOS**

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina.

Orientadora: Prof. Dra. Edilaine Regina Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami

LONDRINA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Associação de nanopartículas magnéticas a coagulantes orgânicos no
tratamento de efluente de lavagem de materiais plásticos

por

Thaís Ribeiro

Monografia apresentada no dia 09 de julho de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
(UTFPR)

Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami
(UTFPR)

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda minha família, em especial meus pais, Aparecida e Claudio, que sempre foram exemplos para mim e que durante toda minha vida me incentivaram, apoiaram e acreditaram no meu potencial. A minha irmã Isabela Ribeiro, pelas risadas, conversas e por me emprestar o notebook quando mais precisei. Ao meu filho Darth Vader, que, mesmo dormindo ou batendo na porta, sempre esteve comigo nas madrugadas de estudo.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela estrutura disponibilizada. Aos docentes pelo conhecimento e incentivos transmitidos. Ao Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami pela coorientação e ao Prof. Dr. Joelmir André Borssoi pelo apoio na parte estatística, professores sem os quais não seria possível realizar o trabalho. Em especial, agradeço a minha orientadora Prof Dra Edilaine Regina Pereira pela oportunidade, confiança e paciência durante todo o trajeto.

Agradeço as pessoas mais importantes que a faculdade me proporcionou conhecer: Fellipe Janz, que durante todo o curso esteve presente me incentivando, ajudando, ouvindo e alegrando, e; Dandley Vizibelli, mais que um amigo, um irmão, que independente do momento sempre me fez rir e me pôs para cima. E não importa quantos “tempos de retorno” ocorram, vou querê-los para sempre comigo.

E agradeço, por fim, a todos aqueles que de forma direta ou indireta me ajudaram a realizar mais este sonho.

RESUMO

RIBEIRO, T. **Associação de nanopartículas magnéticas a coagulantes orgânicos no tratamento de efluente de lavagem de materiais plásticos.** 2019. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

Atualmente indústrias e empresas de diversos setores enxergam no plástico uma opção econômica de material com a finalidade de proteger os seus produtos bem como torná-los estéticos para o setor de vendas. Diante da elevada quantidade de plástico gerada uma alternativa para não sobrecarregar aterros é a separação dos resíduos visando a reutilização ou reciclagem. Assim, para que o polímero seja devidamente reciclado faz-se necessário que o material esteja limpo, tal trabalho é realizado por indústrias de lavagem de plástico. Para o tratamento do efluente proveniente de lavagem de plástico utiliza-se normalmente coagulantes químicos como Cloreto Férrico ou Sulfato de Alumínio, porém devido à grande concentração de sólidos presente no efluente em questão uma grande quantidade de lodo é gerada possuindo este uma elevada quantidade de elementos inorgânicos residuais como ferro e alumínio, necessitando assim passar por um pós tratamento. Desta forma, o presente estudo possui como objetivo testar a eficiência dos coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e Tanino em associação à nanopartícula magnética magnetita a fim de acelerar o processo de sedimentação no tratamento de efluente proveniente da lavagem de materiais plásticos visando torná-los alternativas para uso. Os ensaios foram realizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina. Foi realizado um pré-ensaio a partir da metodologia Jar-test, a qual simula os processos de coagulação, floculação e sedimentação de uma estação de tratamento. Os testes foram realizados a fim de se obter a melhor faixa de concentração dos coagulantes na presença e ausência da nanopartícula. Tal faixa obtida foi utilizada para realização da parte inicial do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), para que assim pudessem ser obtidas as concentrações a serem testadas bem como os tempos em que seriam realizadas as análises de comportamento dos tratamentos. As concentrações de Tanino utilizadas no ensaio, definidas através da análise DCCR, foram 13mgL^{-1} , $14,45\text{mgL}^{-1}$, 18mgL^{-1} , $21,55\text{mgL}^{-1}$ e 23mgL^{-1} , enquanto que as concentrações de *Moringa oleifera* foram 3mgL^{-1} , $4,63\text{mgL}^{-1}$, 8mgL^{-1} , $11,37\text{mgL}^{-1}$ e 13mgL^{-1} . A concentração de nanopartícula utilizada foi de 50mgL^{-1} . No decorrer do ensaio foram realizadas análises dos parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio e sólidos totais. Após a obtenção dos dados e análises estatísticas (análise de variância e superfície de resposta) observou-se que quanto aos parâmetros de pH, temperatura e condutividade elétrica, a presença da nanopartícula no tratamento se mostrou não significativa indicando, portanto, a não influência sobre tais parâmetros. Quanto aos parâmetros de Cor aparente e Turbidez a nanopartícula quando associada a *Moringa oleifera* mostrou-se não significativa. Porém, o coagulante Tanino quando associado a magnetita teve suas eficiências de remoção elevadas para ambos os parâmetros, encerrando o ensaio com remoções máximas de 84% e 89% para Cor aparente e Turbidez,

respectivamente. Para a remoção de Sólidos Totais todos os tratamentos obtiveram remoções semelhantes, sendo, estatisticamente, não-significativas entre si. Quanto ao parâmetro DQO, o tratamento que mais se sobressaiu foi onde o Tanino estava associado à nanopartícula, obtendo a maior eficiência de remoção, sendo esta de 76% (Ensaio 8). Após análise de todos os tratamentos, o melhor desempenho foi referente ao tratamento utilizando Tanino em associação à magnetita em uma concentração de $21,55\text{mgL}^{-1}$ sendo este analisado no tempo de 28 minutos de sedimentação. Assim, conclui-se que coagulantes orgânicos associados à nanopartículas têm potencial para tornarem-se alternativas de tratamento de efluentes substituindo assim coagulantes inorgânicos amplamente utilizados atualmente.

Palavras-chave: Nanopartícula magnética, coagulantes orgânicos, tratamento de efluente.

ABSTRACT

RIBEIRO, T. **Association of magnetic nanoparticles with organic coagulants in the treatment of plastic washing effluent.** 2019. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

Nowadays industries and companies of diverse sectors see in the plastic an economic option of material with the purpose of to protect its products as well as to make them esthetic for the sector of sales. Given the high amount of plastic generated an alternative to not overburden landfills is the separation of waste for reuse or recycling. Thus, in order for the polymer to be properly recycled it is necessary to have the material cleaned, such work is carried out by plastic washing industries. For the treatment of the effluent from plastic washing, chemical coagulants such as Ferric Chloride or Aluminum Sulphate are usually used, however, due to the high concentration of solids present in the effluent in question, a large amount of sludge is generated having a large quantity of elements inorganic waste products such as iron and aluminum, thus needing to undergo a post treatment. Thus, the present study aims to test the efficiency of organic coagulants *Moringa oleifera* and Tanino in association with magnetic magnetite nanoparticle in order to accelerate the sedimentation process in the treatment of effluent from the washing of plastic materials in order to make them alternatives for use. The tests were carried out at the Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina campus. A pre-test was performed using the Jar-test methodology, which simulates the coagulation, flocculation and sedimentation processes of a treatment plant. The tests were performed in order to obtain the best concentration range of the coagulants in the presence and absence of the nanoparticle. This obtained strip was used to perform the initial part of the Central Rotational Composite Design (DCCR), so that the concentrations to be tested could be obtained as well as the times in which the behavioral analysis of the treatments were performed. The concentrations of Tannin used in the trial, defined by the DCCR analysis, were 13mgL^{-1} , $14,45\text{mgL}^{-1}$, 18mgL^{-1} , $21,55\text{mgL}^{-1}$ and 23mgL^{-1} , while *Moringa oleifera* concentrations were 3mgL^{-1} , $4,63\text{mgL}^{-1}$, 8mgL^{-1} , $11,37\text{mgL}^{-1}$ and 13mgL^{-1} . The concentration of nanoparticle used was 50mgL^{-1} . During the test, the parameters pH, temperature, electrical conductivity, turbidity, apparent color, chemical oxygen demand and total solids were analyzed. After obtaining the data and statistical analysis (analysis of variance and response surface), it was observed that for the parameters of pH, temperature and electrical conductivity, the presence of the nanoparticle in the treatment was shown to be non-significant indicating, therefore, no influence on such parameters. As for the parameters of apparent Color and Turbidity the nanoparticle when associated with *Moringa oleifera* was not significant. However, the coagulant Tanino when associated to magnetite had its removal efficiencies high for both parameters, closing the test with maximum removals of 84% and 89% for apparent Color and Turbidity, respectively. For the removal of Total Solids all treatments obtained similar removals, being statistically non-significant between them. Regarding the COD parameter, the most prominent treatment was where the Tanino was associated to the nanoparticle, obtaining the highest removal

efficiency, which was 76% (Test 8). After analysis of all treatments, the best performance was related to the treatment using Tannin in association with magnetite at a concentration of 21.55mgL^{-1} and it was analyzed in the time of 28 minutes of sedimentation. Thus, it is concluded that organic coagulants associated with nanoparticles have the potential to become effluent treatment alternatives, thus replacing widely used inorganic coagulants.

Key words: Magnetic nanoparticle, organic coagulants, effluent treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) <i>Pinus pinaster</i> e (b) <i>Schinopsis balansae</i>	22
Figura 2 – Acácia negra (<i>Acácia mearnsii</i>).....	22
Figura 3 – (a) Árvore de <i>Moringa oleifera</i> (b) flores e (c) vagem.....	23
Figura 4 – Sementes de <i>Moringa oleifera</i> com e sem casca.....	24
Figura 5 – Estrutura molecular da magnetita.....	26
Figura 6 – (a) Laboratório de Saneamento e (b) Laboratório de Poluentes	29
Figura 7 – Pré-ensaio utilizando Teste dos Jarros	30
Figura 8 – Modelo do equipamento Jar Test utilizado na realização do ensaio	33
Figura 9 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para pH.	37
Figura 10 – Superfície de resposta para a variável resposta pH.....	37
Figura 11 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para pH.	39
Figura 12 – Superfície de resposta para a variável resposta pH.....	40
Figura 13 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para CE.	46
Figura 14 – Superfície de resposta para a variável resposta CE.	46
Figura 15 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para a Turbidez.	49
Figura 16 – Superfície de resposta para a variável resposta Turbidez.	49
Figura 17 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para a Turbidez.	52
Figura 18 – Superfície de resposta para a variável resposta Turbidez	53
Figura 19 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para a Cor aparente.	55
Figura 20 – Superfície de resposta para a variável resposta Cor aparente.	56
Figura 21 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para a Cor aparente.	58
Figura 22 – Superfície de resposta para a variável resposta Cor aparente.	59
Figura 23 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para DQO.	61
Figura 24 – Superfície de resposta para a variável resposta DQO.	62
Figura 25 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para DQO.	64
Figura 26 – Superfície de resposta para a variável resposta DQO.	65
Figura 27 – Gráfico dos Valores observados <i>versus</i> Valores preditos para Sólidos Totais.....	68
Figura 28 – Superfície de resposta para a variável resposta Sólidos totais.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições de lançamento de efluentes.....	28
Tabela 2 – Delineamento dos tratamentos considerando duas variáveis: concentração de <i>Moringa oleifera</i> e tempo.	31
Tabela 3 – Delineamento dos tratamentos considerando duas variáveis: concentração de Tanino e tempo.	31
Tabela 4 – Parâmetros analisados, metodologias e equipamentos respectivos.	34
Tabela 5 – Caracterização físico-química do efluente bruto.	35
Tabela 6 – Valores de pH analisados nos tratamentos com Tanino.	35
Tabela 7 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos para pH.	36
Tabela 8 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para pH.....	36
Tabela 9 – Dados de pH analisados nos tratamentos com <i>Moringa oleifera</i> . ..	38
Tabela 10 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para pH.....	38
Tabela 11 – Dados de temperatura analisados nos tratamentos com Tanino.	41
Tabela 12 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Temperatura.....	41
Tabela 13 – Dados de temperatura analisados nos tratamentos com <i>Moringa oleifera</i>	42
Tabela 14 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Temperatura.....	43
Tabela 15 – Dados de condutividade elétrica analisados nos tratamentos com Tanino.	43
Tabela 16 – Dados de condutividade elétrica analisados nos tratamentos com <i>Moringa oleifera</i>	44
Tabela 17 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para CE	45
Tabela 18 – Valores de turbidez e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com Tanino.....	47
Tabela 19 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos significativos do modelo para a Turbidez	48
Tabela 20 – Valores de turbidez e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com <i>Moringa oleifera</i>	50
Tabela 21 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Turbidez	51
Tabela 22 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para Turbidez	51

Tabela 23 – Valores de cor aparente e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com Tanino.....	54
Tabela 24 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos significativos do modelo para a Cor aparente	55
Tabela 25 – Valores de cor aparente e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com <i>Moringa oleifera</i>	57
Tabela 26 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos significativos do modelo para a Cor aparente	58
Tabela 27 – Dados de porcentagens de remoção de DQO analisados nos tratamentos com Tanino.....	60
Tabela 28 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para DQO	61
Tabela 29 – Dados de porcentagens de remoção de DQO analisados nos tratamentos com <i>Moringa oleifera</i>	63
Tabela 30 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para DQO	63
Tabela 31 – Dados de porcentagens de remoção de sólidos totais analisados nos tratamentos com Tanino.....	65
Tabela 32 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Sólidos Totais.....	66
Tabela 33 – Dados de porcentagens de remoção de sólidos totais analisados nos tratamentos com <i>Moringa oleifera</i>	67
Tabela 34 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para Sólidos Totais.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	TRATAMENTO DE EFLUENTES	17
3.1.1	Efluente de Lavagem de Plástico	18
3.2	PROCESSOS DE TRATAMENTO	19
3.2.1	Coagulação	19
3.2.2	Floculação	20
3.2.3	Sedimentação	20
3.3	COAGULANTES	21
3.3.1	Coagulantes orgânicos	21
3.4	NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS	25
3.4.1	Magnetita (Fe ₃ O ₄)	26
3.5	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	27
3.6	DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR)	28
4.	MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1	LOCAL DE COLETA DO EFLUENTE	29
4.2	LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS	29
4.3	ENSAIOS	29
4.3.1	Pré-Ensaio	29
4.3.2	Delineamento dos tratamentos	31
4.3.4	Preparo da solução salina de <i>Moringa oleifera</i>	32
4.3.5	Nanopartícula magnética	33
4.3.6	Ensaio de Coagulação/Floculação/Sedimentação	33
4.4.7	Parâmetros analisados	34
5	RESULTADOS	35
5.1	PH	35
5.2	TEMPERATURA	41
5.3	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	43
5.4	TURBIDEZ	47

5.5 COR APARENTE.....	54
5.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	60
5.7 SÓLIDOS TOTAIS.....	65
6 CONCLUSÃO.....	70
REFERENCIAS.....	71

1 INTRODUÇÃO

Atualmente indústrias e empresas de diversos setores enxergam no plástico uma opção econômica de material com a finalidade de proteger os seus produtos bem como torná-los estéticos para o setor de vendas. Assim, com a abrangente utilização deste polímero, desde 1960, quando a produção mundial foi de aproximadamente 6 milhões de toneladas, sua produção caracteriza-se como intensa e contínua, tendo, até no ano de 2017, alcançando a produção total estimada de 8,3 bilhões de toneladas (LEITE, 2002).

Diante da elevada quantidade de plástico gerada uma alternativa para não sobrecarregar aterros é a separação dos resíduos visando a reutilização ou reciclagem. Assim, para que o polímero seja devidamente reciclado faz-se necessário que o material esteja limpo, tal trabalho é realizado por indústrias de lavagem de plástico.

Estima-se que para a limpeza de 1kg de plástico consuma-se em média de 2 a 3L de água uma vez que tal elemento é de extrema importância para a retirada de impurezas e resíduos aderidos ao material, gerando assim uma elevada quantidade de efluente, que segundo Remédio, Zanin e Teixeira (1999) possui alta concentração de sólidos suspensos, elevada demanda química de oxigênio, turbidez e cor aparente não podendo assim ser descartado para redes coletoras de esgoto e/ou corpos hídricos sem tratamento.

De acordo com Bordonalli e Mendes (2009) para o tratamento do efluente proveniente de lavagem de plástico utiliza-se normalmente coagulantes químicos como Cloreto Férrico ou Sulfato de Alumínio, porém devido à grande concentração de sólidos presente no efluente em questão uma grande quantidade de lodo é gerada possuindo este uma elevada quantidade de elementos inorgânicos residuais como ferro e alumínio, necessitando assim passar por um pós tratamento.

Estudos indicam que para alguns efluentes o tratamento com coagulantes orgânicos pode substituir os coagulantes químicos, porém para alcançar níveis de remoção satisfatórios é necessário que o tempo de sedimentação seja mais elevado que o tratamento com coagulante inorgânico (PIANTÁ, 2008; BONGIOVANI et al., 2010).

Diante de tais problemáticas o presente estudo possui como objetivo testar a eficiência dos coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e Tanino em associação com a nanopartícula magnética magnetita a fim de acelerar o processo de sedimentação no tratamento de efluente proveniente da lavagem de materiais plásticos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve como objetivo geral avaliar o desempenho dos coagulantes orgânicos *Moringa oleifera* e Tanino quando associados à nanopartícula magnética magnetita a fim de acelerar o processo de sedimentação no tratamento de efluente proveniente de indústria de lavagem de plástico.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorar e avaliar o comportamento dos parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura;
- Avaliar a eficiência dos tratamentos na remoção de cor aparente, turbidez, sólidos totais e matéria orgânica através da realização do teste de Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- Avaliar e comparar os resultados obtidos após o estudo com a legislação vigente CONAMA nº430 de 2011.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 TRATAMENTO DE EFLUENTES

A realização do tratamento de efluentes possui como finalidade a adequação destes nos padrões estabelecidos pelas legislações vigentes a fim de que possam ser descartados legalmente em corpos hídricos. Tal tratamento de efluente dá-se comumente em quatro etapas distintas, sendo estas o tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e por fim, porém não obrigatório, o tratamento terciário.

Segundo Von Sperling (1996) e Nunes (2012), no tratamento preliminar é realizada a remoção de sólidos grosseiros e areia por meio da utilização de grades, desarenadores e medidores de vazão, para que assim tais materiais não danifiquem as tubulações e impeçam o bom funcionamento das demais etapas de tratamento. Posteriormente o efluente passa para o tratamento primário onde passará por decantadores a fim de que ocorra a sedimentação de sólidos suspensos, nesta etapa pode haver a adição de coagulantes visando acelerar o processo de decantação.

Comumente os efluentes industriais possuem partículas de carga elétrica negativa, tal fato faz com que criem repulsão entre si, o que ocasiona turbidez e cor no efluente e impossibilita o seu tratamento por meio de tratamentos físicos convencionais. Assim, para que tais impurezas sejam removidas é necessário que se acrescente um agente coagulante no meio para alterar as características das impurezas presentes a fim de se realizar o tratamento por coagulação, floculação e sedimentação (RIBEIRO, 2018; ECKENFELDER, 1989).

O tratamento secundário por sua vez consiste em uma etapa biológica que visa, através da ação de microrganismos aeróbios e/ou anaeróbios, a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) suspensa fina e solúvel, sólidos não sedimentáveis e remoção parcial de nutrientes e patógenos (VON SPERLING, 1996).

Por fim, caso o processo de tratamento do efluente contenha a etapa terciária, este terá como finalidade a melhoria do efluente bem como a remoção de substâncias que não foram removidas nos processos anteriores, tais remoções podem se dar através de processos como, por exemplo, osmose

reversa, oxidação química, adsorção por carvão ativado, dentre outros (NUNES, 2012).

3.1.1 Efluente de Lavagem de Plástico

Atualmente indústrias de vários setores vêm no plástico uma opção de material economicamente viável para, além de proteger seus produtos, propiciar a eles uma boa estética para o comércio.

Devido a intensa utilização do plástico na indústria bem como ao modo de vida adquirido pela população, o plástico, tornou-se para alguns, parte integrante de muitos produtos sendo que na maioria das vezes assim que se consome o produto tal polímero torna-se automaticamente um resíduo sendo, portanto, descartado (ANDRIGUETTO e FLORES, 2018). De acordo com o Ministério do Meio ambiente (2016), após a compra de determinado produto que venha em embalagens plásticas, tais embalagens são descartadas em até seis meses.

Andriguetto e Flores (2018) dizem que, devido às técnicas avançadas de produção, a cada dia o plástico torna-se mais difícil de ser degradado naturalmente, assim, como solução para tal problemática, uma das alternativas é a reciclagem de materiais plásticos feitas por empresas especializadas.

Em indústrias de lavagem de plástico a água é o principal elemento uma vez que é a partir dela que serão retirados detritos e impurezas que estejam no material. Estima-se que, para efetuar a limpeza de 1kg de plástico sejam consumidos aproximadamente cerca de 2 a 3L de água, gerando, portanto, uma elevada quantidade de efluente (BORDONALLI e MENDES, 2009).

Por se tratar de um efluente proveniente de processo de lavagem e limpeza possui características como elevada carga de sólidos totais, demanda química de oxigênio, turbidez e cor aparente (REMÉDIO, ZANIN e TEIXEIRA, 1999; BORDONALLI e MENDES, 2009).

Ainda segundo Remédio, Zanin e Teixeira (1999) tal efluente não pode ser descartado diretamente em redes coletoras de esgoto municipal ou então diretamente em corpos hídricos uma vez que possuem em sua composição, além da elevada quantidade de sólidos, contaminantes orgânicos e inorgânicos que podem afetar o bom funcionamento da rede de esgoto ou do corpo hídrico.

3.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO

3.2.1 Coagulação

Coagulação é um processo onde acrescenta-se na água residuária ou no efluente a ser tratado agentes coagulantes, de natureza orgânica ou inorgânica, a fim de que as partículas presentes nesse meio sejam desestabilizadas, possibilitando assim a aglutinação destas (LIBÂNIO, 2010).

O processo de coagulação pode ser realizado através de quatro mecanismos sendo estes a varredura e adsorção, a formação de ponte, a compressão da dupla camada elétrica e a adsorção e neutralização de cargas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

- I. Varredura e adsorção: tal mecanismo poderá apresentar a formação de precipitados dependendo da quantidade de coagulante utilizado, da faixa de pH em que se encontra o efluente e da concentração de íons presentes no meio.
- II. Formação de ponte: Este mecanismo é caracterizado pela utilização de compostos orgânicos (polímeros) sintéticos ou naturais que são utilizados como coagulantes. Tais polímeros são adsorvidos à superfície das partículas coloidais ocasionando a redução da carga das partículas através da formação de pontes químicas.
- III. Compressão da dupla camada elétrica: Desestabilização das partículas coloidais por meio da adição de íons de camada contrária.
- IV. Adsorção e neutralização de cargas: A desestabilização de uma partícula coloidal consiste nas interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente.

Para que o processo de coagulação ocorra com maior eficiência é necessário que isto ocorra em agitação rápida para que assim as partículas do coagulante e as partículas presentes no efluente tenham maior interação entre si (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

3.2.2 Floculação

O processo de floculação, o qual ocorre após a coagulação e desestabilização das partículas e formação de coágulos, consiste em um processo físico onde as partículas e impurezas coaguladas são submetidas a uma agitação lenta para que se colidam formando partículas maiores e de maior densidade, sendo essas os flocos (SCHOENHALS, 2006 e DI BERNARDO, 2006).

O processo de floculação pode se dar através de três diferentes fenômenos, os quais são a floculação pericinética (movimento browniano), a floculação ortocinética (movimento do fluido) e sedimentação diferencial (sedimentação dos flocos) (VOLTRAN, 2007).

- I. Floculação pericinética: movimento errático das partículas causados pela energia térmica;
- II. Floculação ortocinética: processo de encontro das partículas através da diferença de gradiente de velocidade das partículas;
- III. Sedimentação diferencial: choque das partículas através das diferentes velocidades de sedimentação.

3.2.3 Sedimentação

Também conhecida como decantação, a sedimentação é a terceira e última etapa de clarificação da água ou efluente após estes terem passado pelos processos de coagulação e floculação (HELLER e PÁDUA, 2006).

De acordo com Von Sperling (1996), o processo de sedimentação consiste em um tratamento físico baseado na diferença de densidade de partículas e na ação da gravidade, assim, as partículas mais pesadas tendem a ir para o fundo, resultando na clarificação do líquido e na formação de lodo. Portanto, a sedimentação possibilita a separação entre as fases líquidas e sólidas presentes na água e a velocidade com que essa separação ocorre, segundo Di Bernardo e Dantas (2005), depende das dimensões, formas e massa específica que tais partículas sólidas possuem.

Um outro fator de influência para que o processo possa ocorrer de forma eficiente é o tempo destinado ao procedimento, uma vez que estudos apontam

que quanto maior é o tempo sedimentação, maior é a remoção de partículas e flocos presentes na água ou efluente (CARDOSO et al., 2008).

Cepis (1981), diz que o processo de sedimentação pode, dependendo da concentração e tendência das partículas, ocorrer de duas formas distintas, sendo elas a sedimentação discreta e a sedimentação floculenta. Na sedimentação discreta as partículas são consideradas entidades individuais, ou seja, não sofrem interação de partículas vizinhas, e durante tal processo não têm sua densidade, tamanho e formato alterados e, portanto, possuem velocidade de sedimentação constante. Já a sedimentação floculenta é considerada por Cepis (1981) uma definição mais completa para definir o processo de sedimentação uma vez que as partículas sofrem influência de externalidades que afetam suas características ocasionando uma alteração na velocidade de sedimentação, logo variando o tempo para o procedimento ocorrer.

3.3 COAGULANTES

3.3.1 Coagulantes orgânicos

Segundo Barros (2002) e 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.

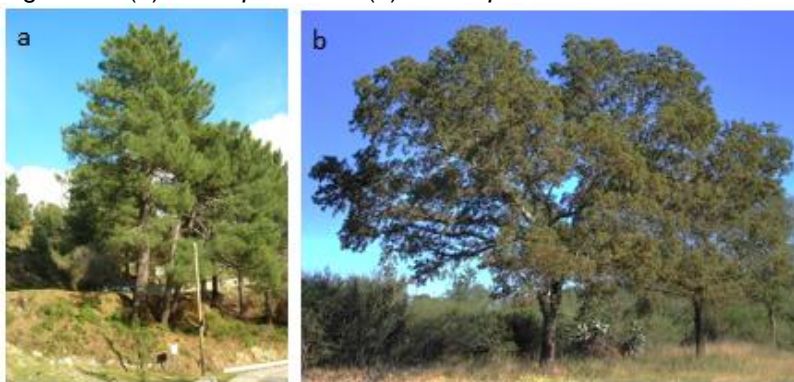
A utilização dos coagulantes orgânicos vem sendo estudada em diversas áreas, isso por que tais coagulantes possuem como características a baixa toxicidade, baixo custo, além da diminuição da geração de lodo, sendo este orgânico e biodegradável (PIANTÁ, 2008; FERRARI, 2015; VERMA, DAH, BHUNIA, 2012; MOREIRA, 2016).

Os coagulantes orgânicos mais comumente utilizados são a quitosana, o tanino e a semente de *Moringa oleifera* (FERRARI, 2015; PAVANELLI, BERNARDO, 2002; MATOS et al., 2007; BONGIOVANI et al., 2010).

3.3.1.1 Tanino

O Tanino é um polímero orgânico de baixo peso molecular que pode ser extraído a partir da lixiviação da casca do *Pinus pinaster* e Quebracho (*Schinopsis balansae*) exibidos, respectivamente, na Figura 1a e Figura 1b, e da casca da Acácia Negra (*Acácia mearnsii*) exibida na Figura 2. Trata-se de um coagulante com característica catiônica que possui a capacidade de reagir e precipitar proteínas (FARIAS; FERREIRA, 2014; FARIA; MENDES; MORAES, 2015; GOMES, SOUZA, BRUZZE, 2017; MARTINS et al., 2018).

Figura 1 – (a) *Pinus pinaster* e (b) *Schinopsis balansae*.



Fonte: GALLET (2008)

Figura 2 - Acácia negra (*Acácia mearnsii*)



Fonte: CELULOSE (2018)

O Tanino atua em partículas coloidais presentes no efluente neutralizando cargas, sendo essas macromoléculas de proteínas e hidratos de carbono bem como minerais, ocasionando a formação de pontes entre tais partículas formando assim flocos que posteriormente sedimentarão (BELTRÁN-HEREDIA; SANCHEZ-MARTIN; MARTIN-SANCHEZ, 2011; SANTANA; HAZ, 2018). Ademais tal coagulante possui como vantagem o não consumo de

alcalinidade ao mesmo tempos que sua faixa ideal de atuação está entre pH 4,5 e 8,0 (FARIAS; FERREIRA, 2014).

Pelegrino (2011), ao empregar tratamento utilizando o coagulante natural tanino em sistema de pós-tratamento de efluente de reator UASB por flotação atingiu eficiência na remoção de cor correspondente a 73,42%, onde o efluente em questão possuía valor de cor de 1220mgPtCoL⁻¹.

Mangrich et al. (2014), ao tratarem água para abastecimento, obtiveram remoção de cor de aproximadamente 50%, remoção de surfactantes de 75% e remoção de matéria orgânica representada por diminuição de 40% de COD e 60% de DBO.

3.3.1.2 *Moringa oleifera*

A *Moringa oleifera*, árvore originária da Índia, pertence à família Moringaceae, a qual é composta por um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies (BEZERRA et al., 2004). É uma espécie de grande porte (Figura 3) e varia entre 5 a 12m de altura, 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 (SORIANI, 2015; SANTANA; HAZ, 2018).

Figura 3 - (a) Árvore de *Moringa oleifera* (b) flores e (c) vagem.



Fonte: Autoria própria (2019)

Segundo Colombo (2012) e Santana e Haz (2018), estudos indicam que a *Moringa oleifera* é uma fonte rica em vitaminas, sais minerais e proteínas, e que incorporá-la à dieta das pessoas é uma alternativa para retirá-las, por

exemplo, da desnutrição como foi observado em pessoas da África Ocidental. Tal espécie também contém aminoácidos (histidina e fenilalanina) que são essenciais para o corpo humano e que o qual é incapaz de sintetizá-los (OLSON; FAHEY, 2011; SANTANA; HAZ, 2018).

A *Moringa oleifera* também possui características que permite que esta 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 apud SANTOS, 2010; COLOMBO, 2012).

A estrutura da *Moringa oleifera* utilizada como coagulante é a semente (Figura 4), a qual é constituída de 40% de proteína formada por peptídeos catiônicos, o que confere a semente a sua característica coagulante (GALLÃO et al., 2006; VIEIRA et al., 2010). Tal proteína possui alto peso molecular, 13kDa, o que desestabiliza as partículas presentes em águas e efluentes, assim estas, através do mecanismo de neutralização e adsorção, floculam e sedimentam os coloides (NDACIGENGESERE et al., 1995).

Figura 4 – Sementes de *Moringa oleifera* com e sem casca.



Fonte: Aatoria Própria (2019)

Estudos sugerem que a *Moringa oleifera* quando aplicada como coagulante em tratamento de água e/ou efluente tem sua maior eficiência quando associada ao Cloreto de Sódio uma vez que na presença desse sal a semente tem sua quantidade de proteína aumentada (OKUDA et al., 1999; MADRONA et al., 2012).

Pritchard et al, (2010) também sugere que quando maior for a turbidez da água a ser tratada maior será a remoção de tal parâmetro realizado pelo coagulante.

Silveira (2017) ao utilizar *Moringa oleífera* em solução líquida com 12g de NaCl para tratar água de abastecimento com valor de turbidez de 139 NTU e cor aparente de 427 mgPtCoL⁻¹ obteve eficiências de remoção para os respectivos parâmetros de 96,8% e 98,6%.

Mateus et al. (2015) obtiveram, ao tratar efluente lácteo sintético com *Moringa oleífera* à uma concentração de 100mgL⁻¹, remoções de cor e turbidez de 92% e 91%, respectivamente.

Lo Monaco et al. (2013), utilizando solução coagulante de *Moringa oleífera* a fim de tratar esgoto sanitário conseguiram alcançar eficiência de remoção de turbidez de 85%.

Apesar de ser eficiente na clarificação de água, após a utilização da *Moringa oleífera* como coagulante é necessário que se aplique o processo de filtração objetivando a remoção da matéria orgânica proveniente da solução deste coagulante (POUMAYE, 2012).

Silva (2017), ao utilizar solução salina de *Moringa oleífera* 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.

3.4 NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS

As nanopartículas magnéticas são óxidos de ferro que consistem em arranjos aniônicos normalmente hexagonais ou cúbicos. Na natureza os óxidos de ferro podem ser encontrados em diversas formas, sendo as mais comuns a magnetita ($\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$), a maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) e a hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) (TEJA e KOH, 2009; SILVA et. al., 2015).

Entre as diversas nanopartículas magnéticas estudadas os óxidos de ferro se destacam uma vez que possuem como característica a não-toxicidade bem como a biocompatibilidade (LAURENT et al., 2008). Ademais, a reutilização das nanopartículas magnéticas de óxido de ferro torna-se mais viável uma vez que, devido às propriedades magnéticas, a sua separação é simplificada (BORGUI et al., 2011).

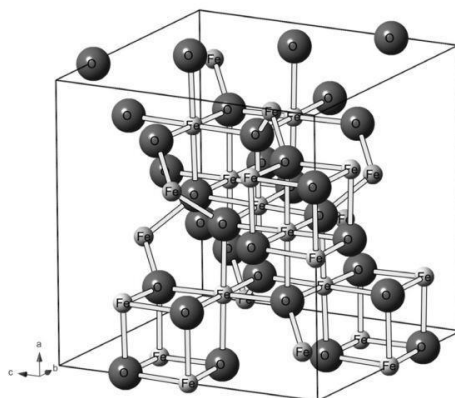
O tamanho reduzido das partículas, as elevadas áreas específicas bem como as diferentes possibilidades de funcionalização da superfície conferem às nanopartículas a capacidade de interagir com moléculas biológicas, assim devido a rápida interação entre as moléculas reduz-se com tempo de contato e o consumo de energia (AMSTAD et al., 2009; CHIN & YAAKOB, 2007; MIYASHIRO, 2017)

Existem diversos métodos de obtenção de nanopartículas magnéticas de óxidos de ferro, dentre as mais utilizadas encontram-se: (I) Co-precipitação; (II) Microemulsão; (III) Hidrotérmico; (IV) Decomposição térmica; (V) Sonoquímico; (VI) Pechini; e (VII) Sol-gel (SANTOS, 2015).

3.4.1 Magnetita ($\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$)

De acordo com Oliveira et al. (2013) a magnetita é o óxido de ferro que possui o magnetismo mais forte quando comparado à nanopartícula maghemita e hematita, uma vez que este é o óxido de ferro que se encontra em uma forma mais estável (Figura 5).

Figura 5 – Estrutura molecular da magnetita.



Fonte: Oliveira et al., 2013.

Este óxido de ferro de coloração preta possui em sua composição 73% de ferro, sendo este tanto divalente quanto trivalente, possui estrutura cristalina e pode apresentar composição variável se exposto a temperaturas superiores a 1000°C uma vez que pode dissolver íons de oxigênio (MIYASHIRO, 2017).

O tipo de magnetismo que esta nanopartícula possui é classificado como ferrimagnético ou superparamagnético. Materiais assim classificados possuem dipolos organizados em direções aleatórias, porém, quando um campo magnético é aplicado, tais dipolos giram na direção deste campo alinhando-se (SANTOS, 2015).

A capacidade que a magnetita possui de oxidação completa tanto de contaminantes quanto de compostos simples conferem a ela uma das principais vantagens em ser aplicada no tratamento de água residuais (QU et al., 2013; MIYASHIRO, 2017).

Yin et al. (2012), obtiveram em seu estudo utilizando nanopartículas de óxido de ferro uma remoção de cromo superior a 70% em um tempo de sedimentação de apenas 20 minutos.

As pesquisas que tratam acerca da coagulação magnética possuem como foco de estudo a obtenção de coagulantes magnéticos que associados a coagulantes tradicionais realizem a formação de flocos magnéticos que podem ser separados rapidamente do meio líquido acelerando assim o processo de sedimentação no tratamento de águas residuais (H. Guo et al., 2012).

Okoli et al. (2012) obtiveram eficiência de remoção de turbidez de 90% ao associar nanopartículas de óxido de ferro com o coagulante orgânico *Moringa oleífera* no tratamento de águas superficiais.

3.5 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A legislação brasileira atualmente vigente que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes é a Resolução CONAMA 430 de 13 de maio de 2011 (BRASIL, 2011) que também complementa e altera a Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), que trata sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

As condições e padrões de lançamentos de efluente em corpos hídricos de Classe II dispostos na Resolução nº430/2011 do CONAMA podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Condições de lançamento de efluentes.

Parâmetro	Condição
pH	Entre 5 e 9
Temperatura	Inferior a 40°C
Materiais sedimentáveis	Até 1mL.L ⁻¹
Materiais suspensos	Ausência
Regime de lançamento	Vazão máxima de 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor
Óleos e Graxas	Até 20mg.L ⁻¹ para óleos minerais e até 50mg.L ⁻¹
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C)	Remoção mínima de 60% com estudo de autodepuração do corpo hídrico
Cor verdadeira	Até 75mgPt.L ⁻¹
Turbidez	Até 100UNT
Oxigênio Dissolvido	Não inferior a 5mg.L ⁻¹
Fósforo total	Até 0,030mg.L ⁻¹ em ambientes lênticos e até 0,050mg.L ⁻¹ em ambientes com tempo de residência entre 2 e 40 dias.

Fonte: BRASIL (2011)

3.6 DELINEAMENTO COMPOSTO CENTRAL ROTACIONAL (DCCR)

O Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) é um método estatístico que consiste no emprego de planejamentos fatoriais, tal técnica é utilizada desde a década de 50 e desde então tem gerado boas respostas na modelagem em diversas áreas (BARROS NETO et al., 1996; MATTIETTO e MATTA, 2012).

O método baseia-se em procedimentos que podem ser adotados para estudos de inter-relações entre respostas (variáveis dependentes) com diversos fatores (variáveis independentes).

O resultado da aplicação e utilização do método estatístico DCCR fornece uma análise comparativa entre os dados obtidos bem como uma análise utilizando gráficos de superfície. Conforme Atkinson e Donev (1992), tal método estatístico permite uma maior efetividade quanto a realização dos ensaios uma vez que diminui a quantidade de repetições a serem realizadas.

Segundo Rodrigues e Lemma (2009) tal método é um delineamento simétrico e de segunda ordem que pode ser aplicado a k fatores sendo constituído de uma parte fatorial (2k) e outra axial (k²), logo caso seja utilizado dois fatores o método estatístico gerará, no mínimo, nove combinações.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DE COLETA DO EFLUENTE

O efluente utilizado no presente estudo foi obtido através da empresa Engenho Ambiental, incubada no Hotel Tecnológico da Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Londrina, a qual presta serviços ambientais para a empresa geradora de efluente proveniente de lavagem de materiais plásticos, porém esta não será identificada.

O efluente foi coletado antes de passar por qualquer tipo de tratamento físico-químico e/ou biológico.

4.2 LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina no Laboratório de Saneamento (Figura 6a) e no Laboratório de Poluentes Atmosféricos (Figura 6b).

Figura 6 – (a) Laboratório de Saneamento e (b) Laboratório de Poluentes



Fonte: Autoria Própria (2019).

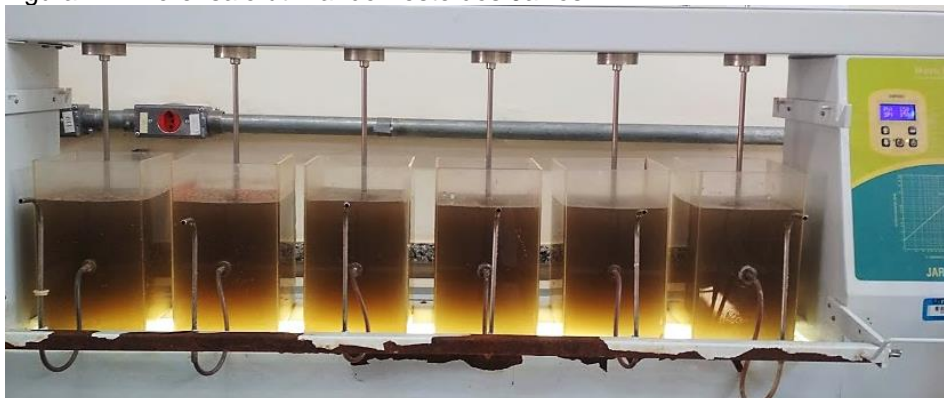
4.3 ENSAIOS

4.3.1 Pré-Ensaio

O pré-ensaio foi realizado a partir da metodologia Jar-test a qual simula os processos de coagulação, floculação e sedimentação de uma estação de

tratamento. Conforme mostrado na Figura 7, foram utilizados jarros contendo 2L de efluente e a eles foram acrescentadas as soluções coagulantes nas concentrações de 3, 5, 8, 13, 18, e 23 mgL⁻¹. Foram testadas também essas mesmas concentrações em associação à nanopartícula, esta utilizada na concentração de 50 mgL⁻¹, onde a qual foi determinada após realização de pré-ensaios com diferentes concentrações.

Figura 7 – Pré-ensaio utilizando Teste dos Jarros



Fonte: Autoria própria (2019)

Os testes foram realizados seguindo adaptações da metodologia de Theodoro (2012), portanto a coagulação deu-se por 3 minutos a uma rotação de 150rpm, a floculação por 10 minutos a 15 rpm, e a sedimentação deu-se a partir do desligamento do aparelho. A partir do início da sedimentação foi acompanhado o comportamento dos parâmetros pH, turbidez e cor aparente nos tempos de 5, 15 e 40 minutos de sedimentação.

Os testes foram realizados a fim de se obter a melhor faixa de concentração dos coagulantes na presença e ausência da nanopartícula. Tal faixa obtida foi utilizada para realização da parte inicial do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), para que assim pudessem ser obtidas as concentrações a serem testadas bem como o tempo em que seriam realizadas as análises de comportamento dos tratamentos.

Assim, obteve-se que para a solução coagulante derivada de *Moringa oleifera* a faixa de concentração mais eficiente seria de 3mgL⁻¹ a 13mgL⁻¹, enquanto que para a solução à base de Tanino essa faixa seria de 13mgL⁻¹ a 23mgL⁻¹. Na presença da nanopartícula tais faixas de concentração se mantiveram para os mesmos coagulantes.

Quanto ao tempo, definiu-se que a melhor faixa para analisar os parâmetros seria entre os 3 minutos e 33 minutos a partir do início da sedimentação.

4.3.2 Delineamento dos tratamentos

Após a realização do pré-ensaio e consequente obtenção das faixas ideais de concentração e tempo pode-se iniciar o uso do Delineamento Composto Central Rotacional a fim de determinar quais seriam as concentrações a serem utilizadas nos ensaios bem como quais seriam os tempos de coleta e análise das amostras. Para os valores de concentração máximo e mínimo de solução de *Moringa oleifera* chegou-se aos resultados dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Delineamento dos tratamentos considerando duas variáveis: concentração de *Moringa oleifera* e Tempo.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de coleta (min)	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de coleta (min)
1	-1	-1	4,63	7,7
2	1	-1	11,37	7,7
3	-1	1	4,63	28,3
4	1	1	11,37	28,3
5	-1,41	0	3	0
6	1,41	0	13	0
7	0	-1,41	0	3
8	0	1,41	0	33
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0

Fonte: Autoria Própria (2019).

Também se utilizou o DCCR para aplicar os valores máximo e mínimo de concentração da solução de Tanino bem como os valores máximo e mínimo de tempo para coleta e análise dos parâmetros, o resultado obtido está contido na Tabela 3.

Tabela 3 - Delineamento dos tratamentos considerando duas variáveis: concentração de Tanino e Tempo.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de coleta (min)	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de coleta (min)
1	-1	-1	14,45	7,7
2	1	-1	21,55	7,7
3	-1	1	14,45	28,3

4	1	1	21,55	28,3
5	-1,41	0	13	0
6	1,41	0	23	0
7	0	-1,41	0	3
8	0	1,41	0	33
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0

Fonte: Autoria Própria (2019).

Foi considerado um esquema fatorial em blocos, cujos fatores são a Concentração (mgL^{-1}) e o Tempo de sedimentação (minutos), e como bloco, a presença ou ausência de uma nanopartícula, incluindo 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central, que totalizaram 11 ensaios para cada coagulante, dentro de cada bloco. As análises foram realizadas por meio do software Statistica.

Inicialmente, para cada variável resposta, foi ajustado um modelo de 2ª ordem do tipo:

$$\text{Resposta} = \beta_0 + \beta_1 + \beta_2 C + \beta_3 T + \beta_4 C^2 + \beta_5 T^2 + \beta_6 C * T,$$

em que: β_i são os coeficientes associados a: β_0 : Intercepto, β_1 : Bloco, β_2 : Concentração (C), β_3 : Tempo (T), β_4 : Concentração quadrática (C^2), β_5 : Tempo quadrático (T^2) e β_6 : Interação entre Concentração e Tempo ($C*T$).

Em cada variável analisada, a superfície de resposta foi gerada considerando apenas o modelo com os coeficientes significativos (a 5% de significância)

4.3.3 Preparo da solução de Tanino

A solução coagulante de Tanino foi obtida a partir da homogeneização de 1 mL de Tanino líquido em 1 L de água destilada. As concentrações utilizadas no ensaio definidas através da análise DCCR foram 13mgL^{-1} , $14,45\text{mgL}^{-1}$, 18mgL^{-1} , $21,55\text{mgL}^{-1}$ e 23mgL^{-1} .

4.3.4 Preparo da solução salina de *Moringa oleifera*

A solução coagulante salina de *Moringa oleifera* foi obtida a partir do processamento de 1 L de água destilada, 50 g de semente de *Moringa oleifera*

sem casca e 1 M de NaCl em um liquidificador sendo posteriormente a mistura passada em peneira de pano a fim de que a maior parte da matéria orgânica da solução proveniente das sementes fosse retida ficando apenas as propriedades coagulantes na solução final (DI BERNARDO, 2003). As concentrações de tal solução a serem utilizadas foram obtidas a partir do pré-ensaio e análise DCCR e correspondem a 3mgL^{-1} , $4,63\text{mgL}^{-1}$, 8mgL^{-1} , $11,37\text{mgL}^{-1}$ e 13mgL^{-1} .

4.3.5 Nanopartícula magnética

A nanopartícula magnética utilizada foi a magnetita ($\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$) e sua síntese realizada a partir da metodologia descrita por Schwertmann & Cornell (2000).

A concentração da nanopartícula magnética utilizada foi determinada a partir de pré-testes a fim de se determinar a concentração mais eficiente, sendo esta a de 50mgL^{-1} .

4.3.6 Ensaio de Coagulação/Floculação/Sedimentação

Os ensaios foram realizados seguindo a metodologia Jar Test que simula os processos de coagulação, floculação e sedimentação. O equipamento utilizado da marca Nova Ética – Modelo 218 LDB possui capacidade para seis jarros de 2 L cada (Figura 8).

Figura 8 – Modelo do equipamento Jar Test utilizado na realização do ensaio



Fonte: Autoria Própria (2019)

Os jarros foram preenchidos com 2 L de efluente, ao efluente foram acrescentados as soluções, em concentração estipulada no pré-ensaio, bem como as nanopartículas, assim estes foram submetidos a uma rotação de 150 rpm por 3 minutos, simulando o processo de coagulação, em seguida a rotação passou a ser de 15 rpm e permaneceu deste modo por 10 minutos a fim de simular o processo de floculação e por fim o equipamento foi desligado para que se iniciasse o processo de sedimentação (adaptado de Theodoro, 2012).

Nas amostras onde foram aplicados os tratamentos com coagulantes associados à nanopartícula magnética, no momento em que se iniciou o processo de sedimentação foram colocados sob os jarros ímãs de neodímio a fim de que os flocos, constituídos por coágulos e nanopartículas, fossem atraídos mais rapidamente ao fundo.

Após o início do processo de sedimentação foram realizadas coletas de amostras dos tratamentos e tempos previamente estipulados.

4.4.7 Parâmetros analisados

No decorrer do ensaio foram realizadas análises dos parâmetros pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, cor aparente, demanda química de oxigênio e sólidos totais das amostras coletadas e todos estes parâmetros foram analisados de acordo com as metodologias descritas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Tais parâmetros, suas respectivas metodologias e equipamentos utilizados estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros analisados, metodologias e equipamentos respectivos.

Parâmetro	Metodologia	Equipamento
Cor aparente	2120 – C	Espectrofotômetro DR 5000 – HACH
Turbidez	2130 – B	Turbidímetro AP 2000 – Policontrol
Condutividade elétrica	2510 – B	Condutivímetro Digital Portátil CD 860 – Instrutherm
pH	4500 H + B	Medidor de pH de Bancada MPA 210 – Tecnopon
Temperatura	2550 – B	Medidor de pH de Bancada MPA 210 – Tecnopon
Série de Sólidos	2540	Forno Mufla Digital Microprocessada e Estufa
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	5220	Bloco digestor de DQO – Policontrol

Fonte: APHA (2012)

5 RESULTADOS

A fim de posterior comparação e análise dos dados foram realizadas medições dos parâmetros físico-químicos do efluente bruto e os valores obtidos estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização físico-química do efluente bruto.

Parâmetro	Valor
Temperatura (°C)	25,30
pH	7,26
Condutividade elétrica (mSm ⁻¹)	0,68
Turbidez (UNT)	379
Cor Aparente (mgPt-CoL ⁻¹)	1340
DQO (mgL ⁻¹)	595,81
Sólidos Totais (mgL ⁻¹)	14,33

Fonte: Autoria própria (2019)

5.1 PH

A Tabela 6 contém os valores de pH analisados tanto para o tratamento com Tanino quanto para o mesmo coagulante em associação à magnetita para as diferentes concentrações e tempos de coletas estipulados previamente.

Tabela 6 – Valores de pH analisados nos tratamentos com Tanino.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	pH	
			Tanino	Tanino associada a nanopartícula
1	14,45	8	7,4	7,5
2	21,55	8	7,5	7,5
3	14,45	28	7,5	7,5
4	21,55	28	7,5	7,4
5	13	18	7,4	7,4
6	23	18	7,4	7,4
7	18	3	7,4	7,5
8	18	33	7,5	7,5
9	18	18	7,5	7,5
10	18	18	7,5	7,5
11	18	18	7,5	7,5

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar os dados dispostos na Tabela 6 observa-se que, independente dos tempos de coleta, concentrações utilizadas ou tratamentos empregados, o valor de pH não sofreu grande alteração, variando de 7,4 a 7,5.

Abaixo está apresentada a Tabela 7 com todos os efeitos para a variável pH, mesmo apresentando alguns efeitos não significativos onde valor-p > 0,05. Isso para mostrar que, para a variável pH, não há efeito do Bloco, ou seja, a presença ou ausência da nanopartícula não é significativa para o modelo ajustado. Tal fato também ocorreu para o fator Tempo e para o efeito da interação entre Concentração e Tempo.

Tabela 7 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos para pH.

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	7,451	0,010	713,564	0,000
Bloco	0,002	0,011	0,167	0,870
Concentração (C)	-0,028	0,013	-2,205	0,043
Concentração (C ²)	-0,035	0,015	-2,281	0,038
Tempo (T)	0,013	0,012	1,042	0,314
Tempo (T ²)	0,016	0,014	1,159	0,265
Interação (C*T)	-0,030	0,018	-1,657	0,118

Fonte: Autoria própria (2019)

A Tabela 8 representa os efeitos significativos e seus resultados para a variável pH.

Tabela 8 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para pH.

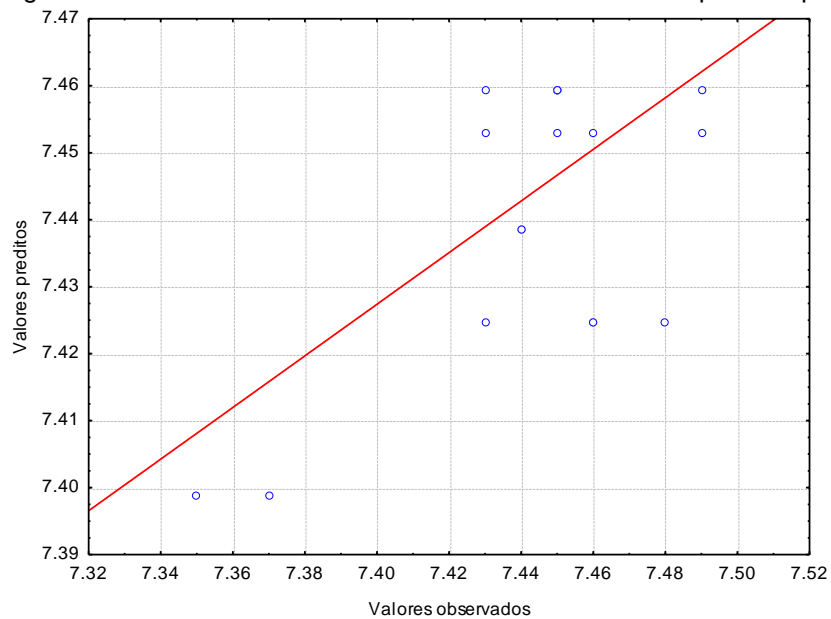
Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	7,459	0,008	950,002	0,000
Concentração (C)	-0,028	0,013	-2,138	0,046
Concentração (C ²)	-0,041	0,015	-2,709	0,014

Fonte: Autoria própria (2019)

Para o modelo ajustado, a estatística R² ajustada foi igual a 0,321, indicando que tal modelo explica apenas 32,1% da variação do pH.

Abaixo encontra-se a Figura 9, a qual contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos. Neste gráfico quanto mais próximos os pontos estão da reta, melhor é o ajuste do modelo.

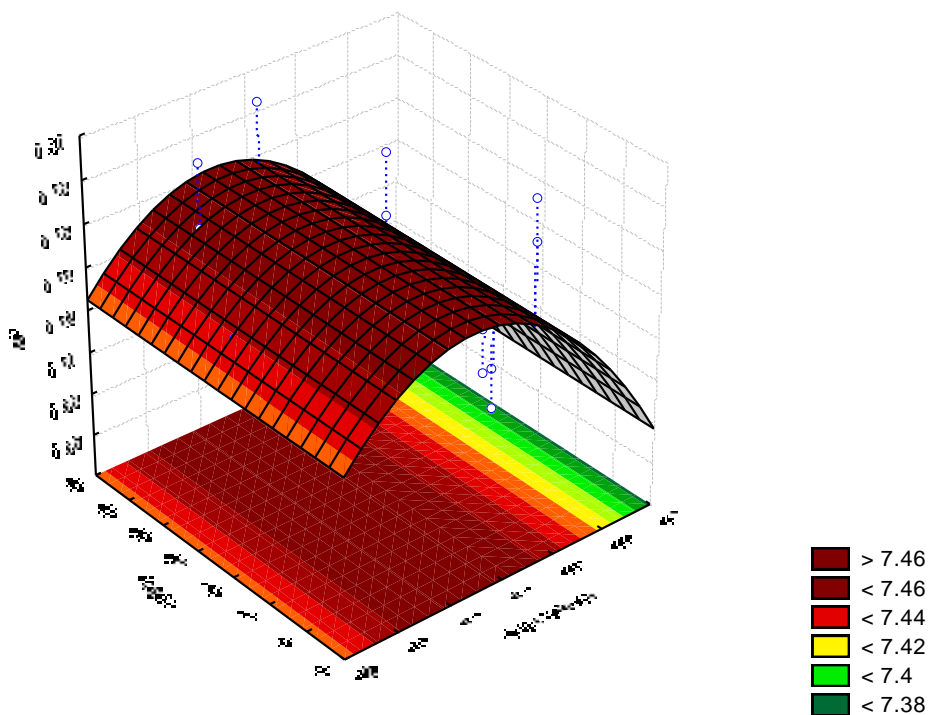
Figura 9 – Gráfico dos Valores observados versus Valores preditos para pH.



Fonte: Autoria própria (2019)

Após a plotagem do gráfico de ajuste do modelo foi realizada a plotagem do modelo de superfície de resposta para a variável pH, sendo que o mesmo se encontra na Figura 10.

Figura 10 – Superfície de resposta para a variável resposta pH.



Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar os dados e os resultados estatísticos obtidos observa-se que o fator Tempo, assim como encontrado na Tabela 7, não influenciou significativamente no parâmetro pH ao decorrer dos ensaios. Observa-se também que para o uso do coagulante Tanino quanto maior sua concentração menor é o valor do pH.

A Tabela 9 contém os valores de pH analisados durante o tratamento com o coagulante a base de *Moringa oleifera* com e sem associação à nanopartícula magnética para as diferentes concentrações e tempos de coletas previamente estipulados.

Tabela 9 – Dados de pH analisados nos tratamentos com *Moringa oleifera*.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	pH	
			<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i> associada a nanopartícula
1	14,45	8	7,3	7,4
2	21,55	8	7,4	7,4
3	14,45	28	7,4	7,4
4	21,55	28	7,4	7,4
5	13	18	7,3	7,4
6	23	18	7,4	7,3
7	18	3	7,3	7,4
8	18	33	7,4	7,4
9	18	18	7,4	7,4
10	18	18	7,4	7,4
11	18	18	7,4	7,4

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar a Tabela 9 nota-se que para ambos os tratamentos onde o coagulante a base de *Moringa oleifera* foi empregado o pH variou apenas entre 7,3 e 7,4. Tais dados semelhantes nos dois tratamentos indicam que a presença da nanopartícula não influencia no valor do presente parâmetro.

A Tabela 10 apresenta os efeitos significativos e seus respectivos resultados para a variável pH no tratamento com coagulante a base de *Moringa oleifera*.

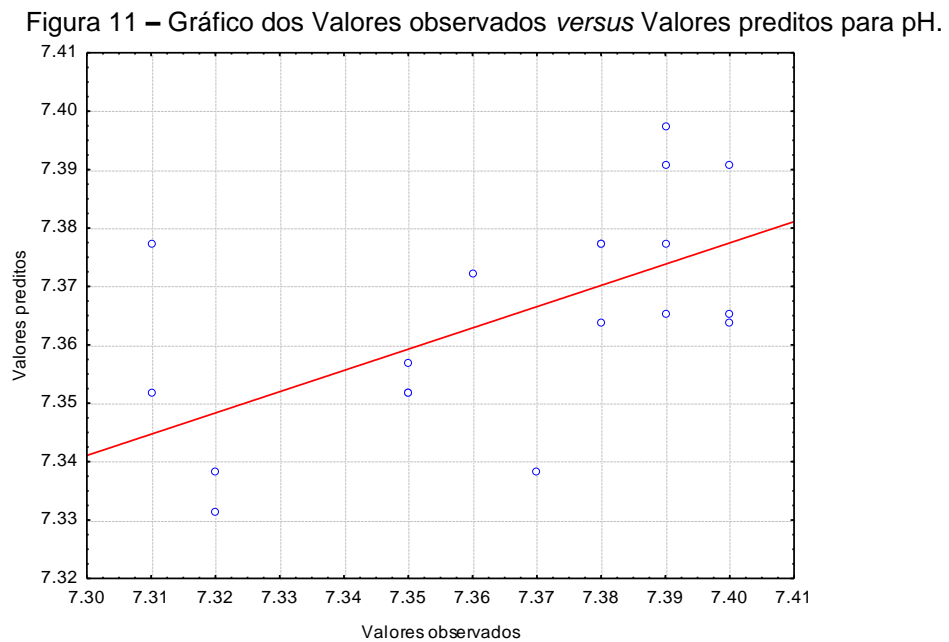
Tabela 10 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para pH.

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	7,365	0,005	1393,791	0,000
Bloco	0,025	0,011	2,409	0,026

Tempo (T)	0,027	0,012	2,251	0,036
-----------	-------	-------	-------	-------

Para o modelo ajustado, a estatística R^2 ajustada foi igual a 0,297, indicando que tal modelo explica apenas 29,7% da variação do pH.

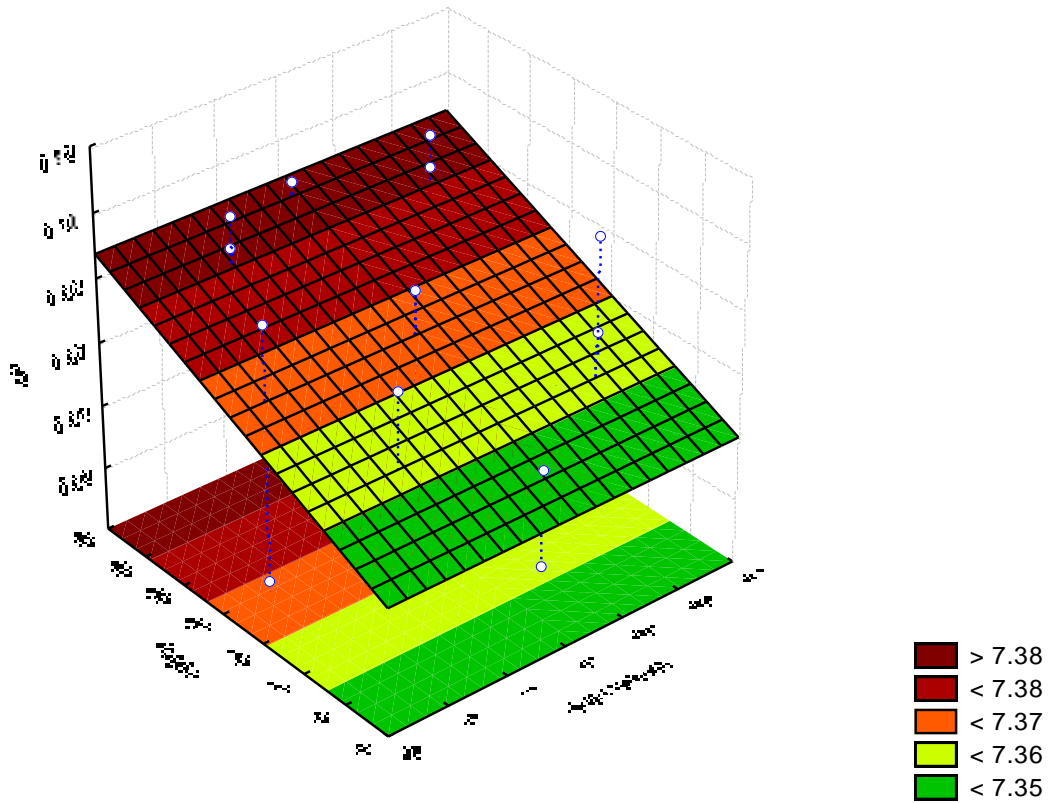
A Figura 11 contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, que mostra como o ajuste não é satisfatório, visto que os pontos estão distantes da reta.



Fonte: Autoria própria (2019)

Após a plotagem do gráfico referente ao ajuste do modelo estatístico plotou-se a superfície de resposta considerando os fatores Tempo e Concentração bem como o valor da variável resposta pH, tal superfície de resposta está contida na Figura 12.

Figura 12 – Superfície de resposta para a variável resposta pH.



Fonte: Autoria própria (2019)

Ao observar os dados e informações estatísticas foi possível analisar que diferente do coagulante Tanino, que não sofre influência do tempo, o tratamento onde utilizou-se a *Moringa oleifera* sofreu influência justamente desse fator, porém estatisticamente essa influência é considerada não significativa.

De acordo com os dados de pH obtidos ao longo dos ensaios considerando todos os diferentes tratamentos, os quais tendo variado o valor de pH de 7,3 a 7,5, concluiu-se que o tratamento com coagulantes orgânicos bem como a adição de nanopartículas aos tratamentos não interferem no valor do parâmetro, ademais os valores mantiveram-se todos dentro da faixa de pH exigida pela resolução vigente CONAMA 430/2011 a qual determina pH de 5 a 9 para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores.

4.2 TEMPERATURA

A Tabela 11 apresenta os valores de temperatura analisados durante o tratamento com o coagulante Tanino na presença e ausência da nanopartícula nos tempos e concentrações estipulados anteriormente.

Tabela 11 – Dados de temperatura analisados nos tratamentos com Tanino.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	Temperatura	
			Tanino	Tanino associada a nanopartícula
1	14,45	8	25,3	25,4
2	21,55	8	25,4	25,3
3	14,45	28	25,6	25,4
4	21,55	28	25,7	25,6
5	13	18	25,0	25,0
6	23	18	24,0	25,3
7	18	3	25,0	25,0
8	18	33	26,0	24,0
9	18	18	25,0	24,0
10	18	18	25,0	24,0
11	18	18	25,0	24,0

Fonte: Autoria própria (2019)

Na Tabela 11 pode-se observar que no tratamento onde utilizou-se apenas o Tanino como coagulante a temperatura variou entre 24,0°C e 26,0°C enquanto que para o tratamento onde acrescentou-se a nanopartícula a variação ocorreu de 24,0°C a 25,6°C, tais variações observadas devem-se a variação da temperatura ambiente do laboratório onde os ensaios foram realizados, uma vez que esse não possui sistema de controle de temperatura.

Na Tabela 12 estão representados todos os efeitos para a variável temperatura. Para tal variável, no ajuste inicial, apenas o Intercepto foi significativo (valor-p < 0,05). Outros ajustes foram testados retirando, primeiro, os efeitos menos significativos, porém ainda assim não foram encontrados efeitos significativos nos modelos reduzidos. Desta forma, não há modelo ajustado, visto que a variação da temperatura é explicada apenas pela média geral (Intercepto).

Tabela 12 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Temperatura

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	T	Valor-p
---------	-------------	-------------	---	---------

Intercepto	24,521	0,240	102,061	0,000
Bloco	-0,364	0,251	-1,448	0,168
Concentração (C)	-0,086	0,295	-0,292	0,775
Concentração (C ²)	0,614	0,356	1,726	0,105
Tempo (T)	0,106	0,286	0,371	0,716
Tempo (T ²)	0,665	0,320	2,080	0,055
Interação (C*T)	0,075	0,417	0,180	0,860

Fonte: Autoria própria (2019)

Na Tabela 13, disposta a seguir, estão os dados de temperatura amostrados durante os ensaios do tratamento com o coagulante a base de *Moringa oleifera* na presença e ausência da nanopartícula magnética nos tempos e concentrações definidos previamente.

Tabela 13 – Dados de temperatura analisados nos tratamentos com *Moringa oleifera*.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	Temperatura	
			<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i> associada a nanopartícula
1	14,45	8	26,1	26,1
2	21,55	8	26,0	26,1
3	14,45	28	26,3	26,1
4	21,55	28	26,1	26,1
5	13	18	26,0	26,0
6	23	18	25,0	26,0
7	18	3	26,0	25,0
8	18	33	26,0	26,0
9	18	18	26,0	26,0
10	18	18	26,0	26,0
11	18	18	26,0	26,0

Fonte: Autoria própria (2019)

Abaixo é apresentada a Tabela 14 com todos os efeitos para a variável temperatura. Assim como para os tratamentos onde utilizou-se o coagulante Tanino na presença e ausência de nanopartícula, no ajuste inicial, apenas o Intercepto foi significativo (valor-p < 0,05). Outros ajustes foram testados retirando, primeiro, os efeitos menos significativos, porém não se encontrou significância nos efeitos dos modelos reduzidos. Desta forma, não há modelo ajustado, visto que a variação da variável Temperatura é explicada apenas pela média geral (Intercepto).

Tabela 14 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Temperatura

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	26,025	0,136	191,977	0,000
Bloco	-0,009	0,142	-0,064	0,950
Concentração (C)	-0,212	0,163	-1,305	0,211
Concentração (C ²)	-0,097	0,186	-0,523	0,609
Tempo (T)	0,212	0,162	1,310	0,210
Tempo (T ²)	-0,098	0,182	-0,539	0,598
Interação (C*T)	-0,025	0,236	-0,106	0,917

Fonte: Autoria própria (2019)

Conclui-se que os coagulantes orgânicos, bem como as nanopartículas, ao serem introduzidos como tratamento não ocasionam reações capazes de alterar a temperatura do meio.

Para o tratamento onde utilizou-se o coagulante Tanino na presença e ausência de nanopartículas as temperaturas variaram entre 24°C e 26°C, enquanto que para o tratamento onde utilizou-se coagulante a base de *Moringa oleifera* as temperaturas variaram de 25°C a 26,3°C. Tais variações podem ser justificadas pela variação de temperatura ambiente visto que o laboratório onde foram realizadas as análises não possui controle de temperatura constante.

Concluiu-se também que ao comparar as temperaturas com o valor do parâmetro exigido pela legislação vigente CONAMA 430/2011, onde a qual exige temperatura máxima de 40°C para o lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, o efluente estaria apto para tal descarte.

4.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A Tabela 15 contém os dados de condutividade elétrica amostrados ao longo dos ensaios com o coagulante Tanino na presença e ausência da nanopartícula nas concentrações e tempos de análise previamente estipulados estatisticamente.

Tabela 15 – Dados de condutividade elétrica analisados nos tratamentos com Tanino.

Ensaio	Concentração	Tempo de análise	Condutividade elétrica (mSm ⁻¹)
--------	--------------	------------------	---

	(mgL ⁻¹)	(minutos)	Tanino	Tanino associada a nanopartícula
1	14,45	8	0,7	0,7
2	21,55	8	0,7	0,7
3	14,45	28	0,7	0,7
4	21,55	28	0,7	0,7
5	13	18	0,7	0,7
6	23	18	0,7	0,7
7	18	3	0,7	0,7
8	18	33	0,7	0,7
9	18	18	0,7	0,7
10	18	18	0,7	0,7
11	18	18	0,7	0,7

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar os valores dispostos na Tabela 15 nota-se que estes foram iguais para todos os tempos, tratamentos e concentrações indicando que nenhum fator analisado influencia no parâmetro condutividade elétrica. Assim, não foi possível realizar a análise estatística e plotagem do gráfico de superfície de resposta uma vez que os valores, por serem iguais, são estatisticamente não significativos entre si em todos os fatores.

Na Tabela 16 estão dispostos os dados de condutividade elétrica amostrados durante o tratamento do efluente com o coagulante a base de *Moringa oleifera* na presença e ausência de nanopartícula para os tempos e concentrações previamente estipulados.

Tabela 16 – Dados de condutividade elétrica analisados nos tratamentos com *Moringa oleifera*.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	Condutividade Elétrica (mSm ⁻¹)	
			<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i> associada a nanopartícula
1	14,45	8	1,0	1,0
2	21,55	8	1,4	1,4
3	14,45	28	1,0	1,0
4	21,55	28	1,4	1,4
5	13	18	0,9	0,9
6	23	18	1,5	1,5
7	18	3	1,2	1,2
8	18	33	1,2	1,2
9	18	18	1,2	1,3
10	18	18	1,2	1,3
11	18	18	1,2	1,3

Fonte: Autoria própria (2019)

Pode-se observar na Tabela 16 que em ambos os tratamentos a variação da condutividade elétrica deu-se entre 0,9 mSm⁻¹ e 1,5 mSm⁻¹. Tal variação semelhante demonstra que a nanopartícula associada ao coagulante a base de *Moringa oleifera* não interfere no parâmetro Condutividade elétrica.

A Tabela 17 apresenta os efeitos significativos e seus resultados, para a variável condutividade elétrica no tratamento com *Moringa oleifera*.

Tabela 17 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para CE

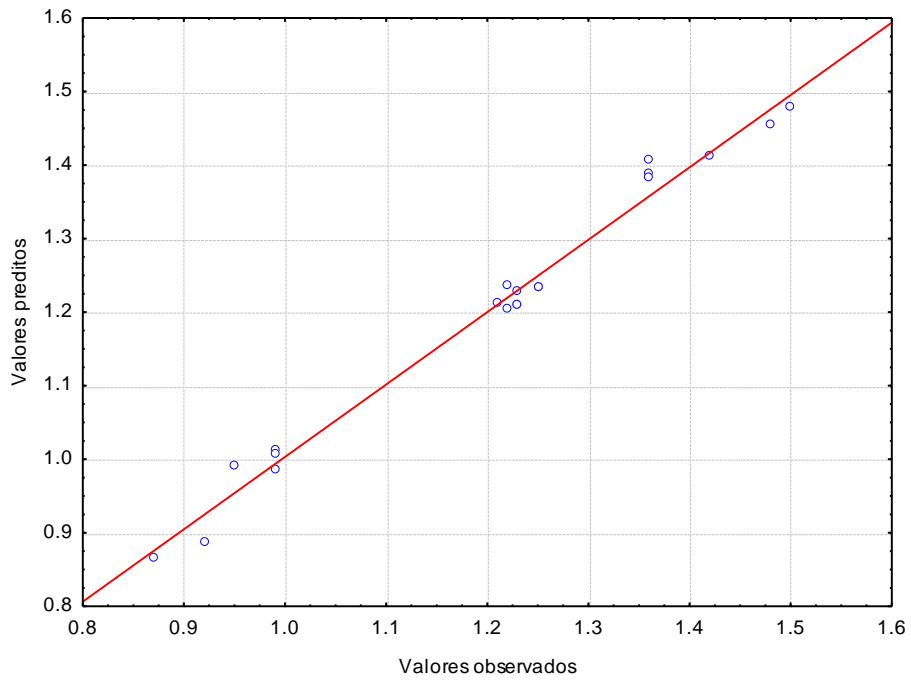
Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	1,238	0,009	141,574	0,000
Bloco	0,023	0,009	2,480	0,024
Concentração (C)	0,398	0,010	37,969	0,000
Concentração (C ²)	-0,056	0,012	-4,639	0,000
Tempo (T ²)	-0,030	0,012	-2,518	0,022

Fonte: Autoria própria (2019)

Para o modelo ajustado, a estatística R² ajustada foi igual a 0,986, indicando que tal modelo explica 98,6% da variação do CE. Esta alta porcentagem pode ser observada na Figura 13, a qual contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, abaixo, pela proximidade dos pontos à reta.

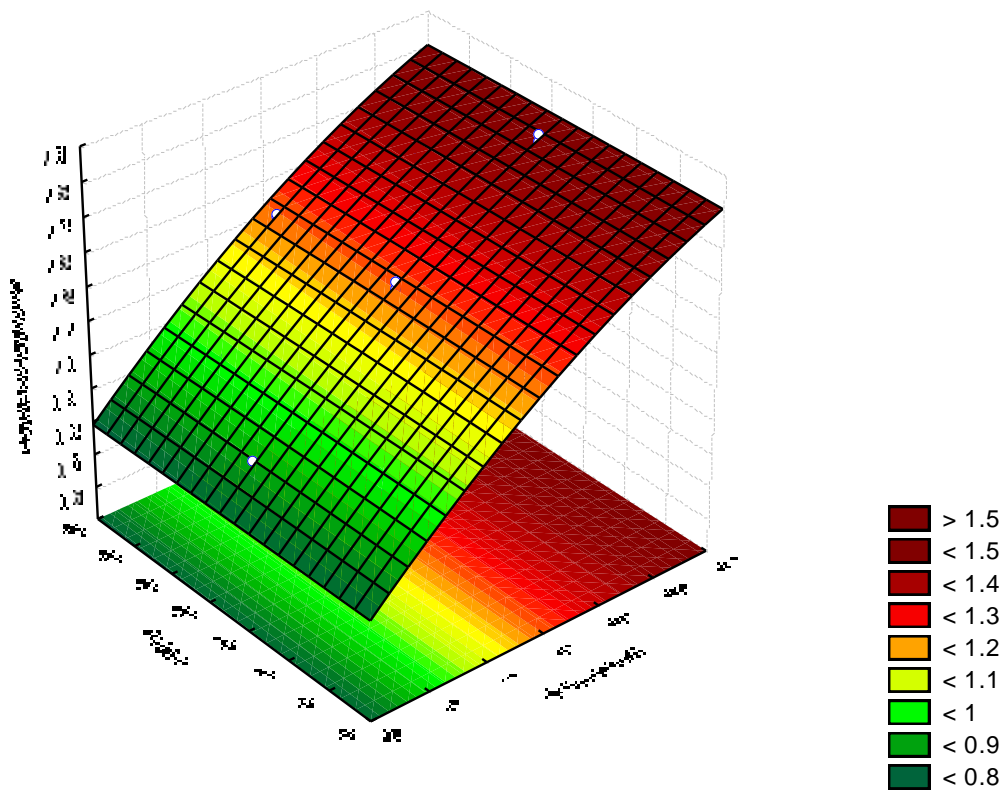
Após tais análises foi plotada a superfície de resposta considerando os fatores Tempo e Concentração bem como a Condutividade elétrica em mSm⁻¹, tal gráfico pode ser observado na Figura 14.

Figura 13 – Gráfico dos Valores observados versus Valores preditos para CE.



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 14 – Superfície de resposta para a variável resposta CE.



Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar o gráfico de superfície de resposta nota-se que o parâmetro Condutividade Elétrica varia dependendo exclusivamente do fator Concentração, isso ocorre devido à presença de Cloreto de Sódio (NaCl) na solução coagulante à base de *Moringa oleifera*, assim, quanto maior a concentração de solução coagulante utilizada no tratamento, maior a concentração de NaCl introduzida no efluente, justificando assim a mudança no valor do parâmetro.

Assim, conclui-se também que para o tratamento com ambos os coagulantes a presença da nanopartícula não altera significativamente o parâmetro.

4.4 TURBIDEZ

Na Tabela 18 estão os dados de turbidez (em UNT e em porcentagem de remoção referente ao efluente bruto) analisados nos tratamentos onde o Tanino foi empregado como coagulante na presença e ausência da nanopartícula para todos os tempos de análise e concentrações estipulados anteriormente através do delineamento.

Tabela 18 – Valores de Turbidez e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com Tanino.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	Tanino		Tanino associado a nanopartícula	
			UNT	% de remoção	UNT	% de remoção
1	14,45	8	104,0	73	98,4	74
2	21,55	8	63,7	83	52,9	86
3	14,45	28	99,4	74	86,1	77
4	21,55	28	59,4	84	40,5	89
5	13	18	100,0	74	101,0	73
6	23	18	66,0	83	64,0	83
7	18	3	103,0	73	85,0	78
8	18	33	76,0	80	41,0	89
9	18	18	87,0	77	68,0	82
10	18	18	87,0	77	68,0	82
11	18	18	87,0	77	68,0	82

Fonte: Autoria própria (2019)

Na Tabela 18 é possível observar que quando aplicado apenas o coagulante Tanino somente quatro ensaios resultaram em remoções iguais ou

superiores a 80%, enquanto que quando associado à nanopartícula o coagulante Tanino teve o seu efeito potencializado elevando assim grande maioria das porcentagens.

A Tabela 19 mostra o resultado de todos os efeitos para o tratamento do efluente com Tanino. Na tabela é possível observar que houve diferença significativa considerando os blocos, concentrações e tempos, indicando que a presença da nanopartícula influenciou no desempenho do coagulante.

Tabela 19 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos significativos do modelo para a Turbidez

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	79,547	0,460	172,793	0,000
Bloco	3,828	0,921	4,158	0,001
Concentração (C)	8,988	1,082	8,308	0,000
Tempo (T)	4,349	1,047	4,152	0,001

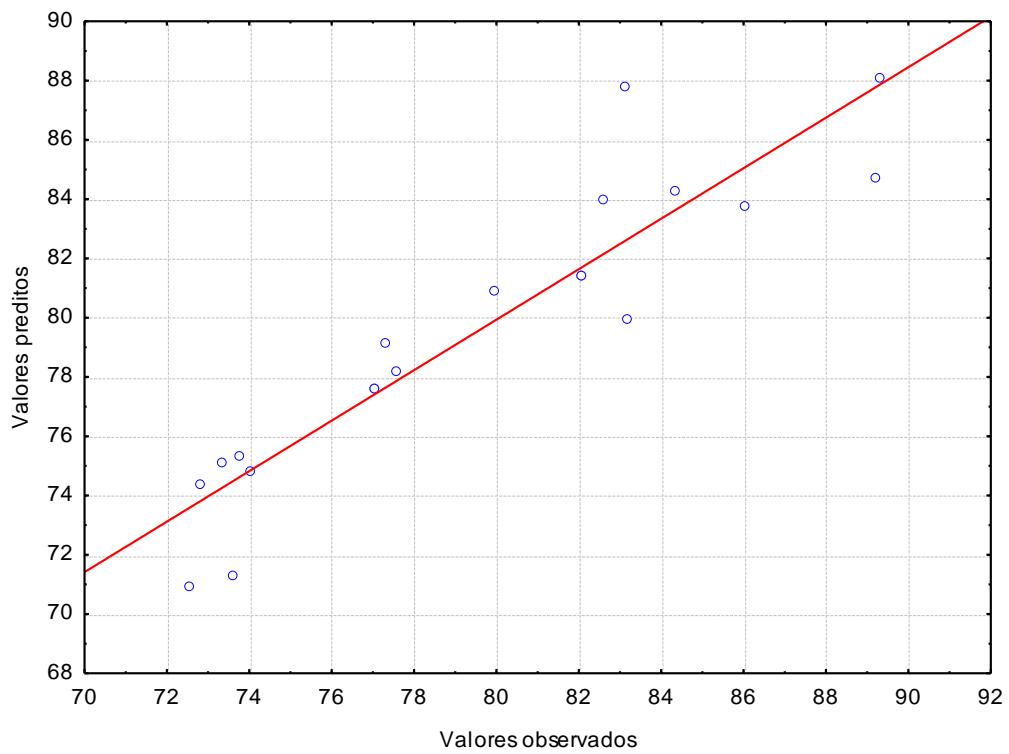
Fonte: Autoria própria (2019)

Para o modelo ajustado obteve-se a estatística R^2 ajustada igual a 0,827, indicando que o modelo explica 82,7% da variação da Turbidez.

Abaixo é apresentada a Figura 15, a qual contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, sendo que quanto mais próximos os pontos estão da reta, melhor é o ajuste do modelo.

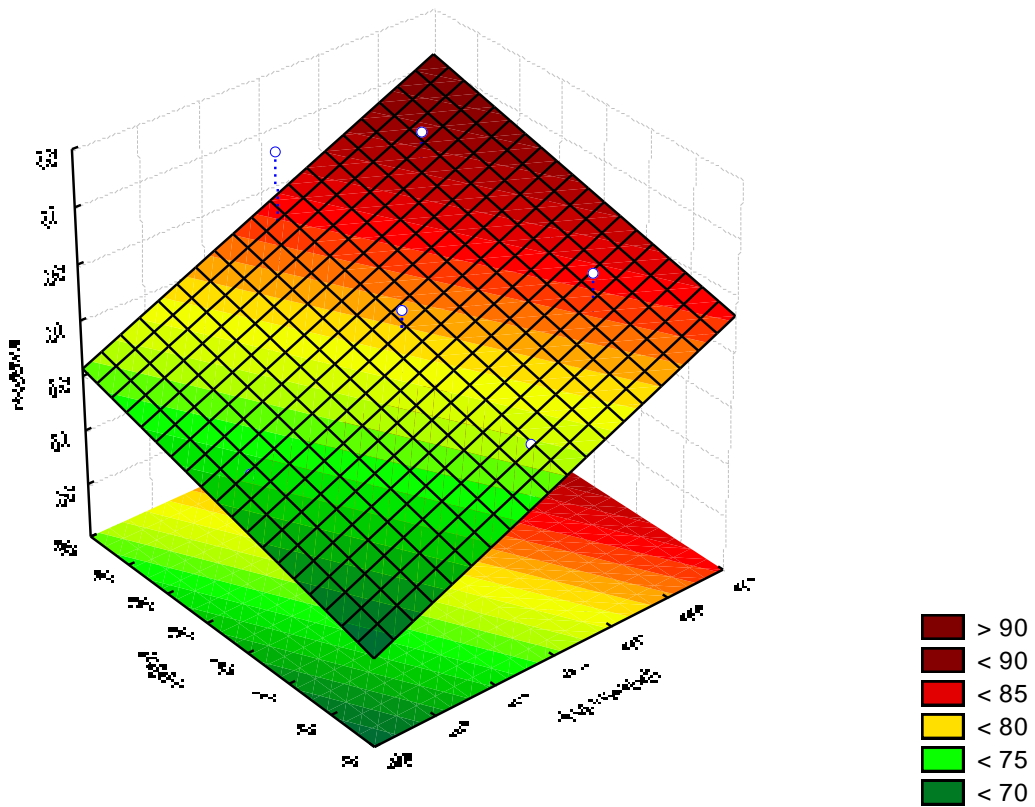
O gráfico de superfície obtido para o tratamento do efluente apenas com Tanino pode ser observado na Figura 16.

Figura 15 – Gráfico dos Valores observados versus Valores preditos para a Turbidez.



Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 16 – Superfície de resposta para a variável resposta Turbidez.



Fonte: Autoria própria (2019)

Na remoção de turbidez utilizando apenas o coagulante Tanino foi possível observar que a melhor remoção se deu com a utilização da concentração de 21,55mgL⁻¹ (28 minutos de sedimentação), sendo possível remover 84% de turbidez, assim o coagulante fez com que o parâmetro atingisse 59,4NTU.

Já no tratamento onde o Tanino foi associado a nanopartícula houveram dois pontos máximos de remoção, um na utilização de 21,55mgL⁻¹ (28 minutos de sedimentação) e em outro momento onde foi empregada a concentração de 18mgL⁻¹ (33 minutos de sedimentação), em ambos os casos a remoção obtida foi de 89%, correspondendo, portanto, a um efluente final com turbidez 41,0NTU.

Assim, de acordo com a avaliação dos dados obtidos e posterior análise estatística foi possível observar que o Tanino quando associado à nanopartícula magnetita teve o seu desempenho melhorado de forma significativa podendo, portanto, atingir melhores porcentagens de remoção de turbidez.

A Tabela 20 contém os dados de turbidez para os tratamentos onde empregou-se como coagulante a *Moringa oleifera* na presença e ausência da nanopartícula magnética.

Tabela 20 – Valores de Turbidez e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com *Moringa oleifera*.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	<i>Moringa oleifera</i>		<i>Moringa oleifera</i> associada a nanopartícula	
			UNT	% de remoção	UNT	% de remoção
1	14,45	8	58,2	85	74,9	80
2	21,55	8	69,0	82	84,5	78
3	14,45	28	27,7	93	31,6	92
4	21,55	28	39,5	90	42,7	89
5	13	18	33,0	91	42,0	89
6	23	18	45,0	88	45,0	88
7	18	3	140,0	63	183,0	52
8	18	33	28,0	93	25,0	93
9	18	18	37,0	90	59,0	84
10	18	18	37,0	90	59,0	84
11	18	18	37,0	90	59,0	84

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar os valores contidos na Tabela 20 nota-se que em ambos os tratamentos (com e sem nanopartícula) a maior eficiência obtida correspondeu a 93% de remoção de turbidez, indicando um efluente final com 27,7UNT para o tratamento apenas com *Moringa oleifera* e 25,0 UNT para o tratamento onde o coagulante foi associado a nanopartícula.

A Tabela 21 mostra os resultados obtidos após aplicação da estatística por blocos, resultando em valores de coeficientes, erro padrão, estatística T e Valor-p para o modelo com todos os efeitos para Turbidez utilizando *Moringa oleifera*

Tabela 21 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Turbidez

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	T	Valor-p
Intercepto	87,567	1,878	46,622	0,000
Bloco	-3,701	1,969	-1,880	0,080
Concentração (C)	-2,059	2,253	-0,914	0,375
Concentração (C ²)	2,826	2,571	1,099	0,289
Tempo (T)	17,076	2,240	7,623	0,000
Tempo (T ²)	-9,637	2,523	-3,820	0,002
Interação (C*T)	-0,165	3,265	-0,051	0,960

Fonte: Autoria própria (2019)

. Como pode ser observado na Tabela 21, apenas os efeitos do Intercepto (média) e do Tempo foram significativos (valor-p < 0,05). Como o efeito do Bloco não é significativo (valor-p > 0,05), a presença da nanopartícula não apresentou influência significativa na Turbidez. O mesmo ocorreu com o efeito da Concentração.

A seguir, é apresentada a Tabela 22 com os efeitos significativos e seus resultados, para a variável Turbidez.

Tabela 22 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para Turbidez

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	89,007	1,401	63,537	0,000

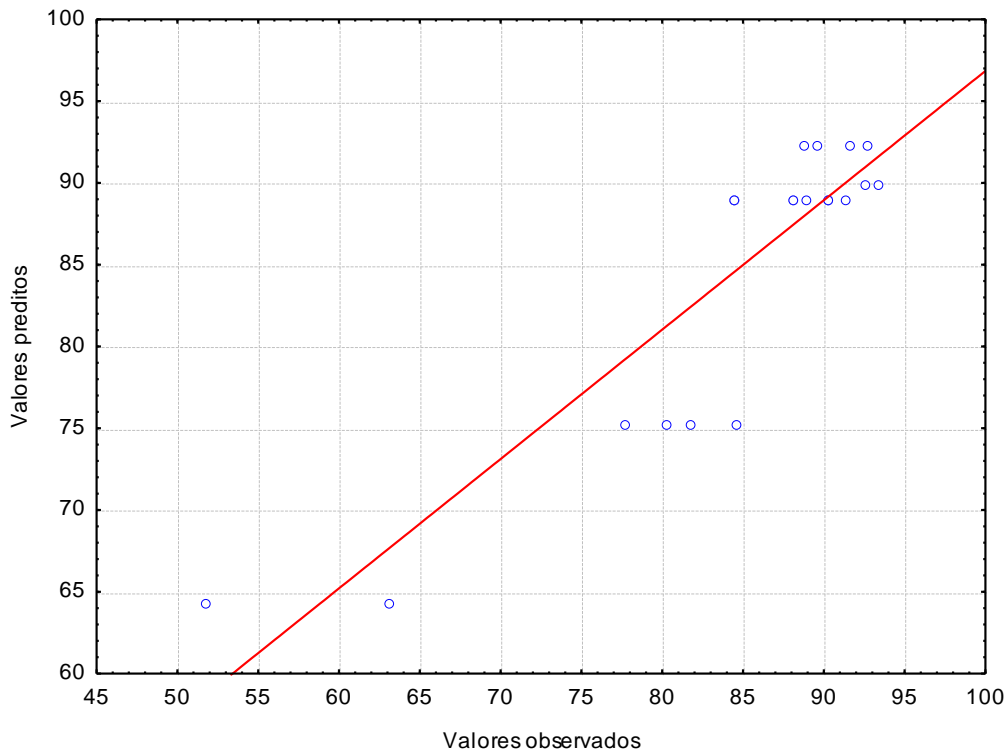
Tempo (T)	17,076	2,331	7,325	0,000
Tempo (T^2)	-10,569	2,472	-4,275	0,000

Fonte: Autoria própria (2019)

Para o modelo ajustado obteve-se a estatística R^2 ajustada igual a 0,769, indicando que o modelo explica 76,9% da variação da Turbidez.

Abaixo é apresentada a Figura 17, a qual contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, sendo que quanto mais próximos os pontos estão da reta, melhor é o ajuste do modelo.

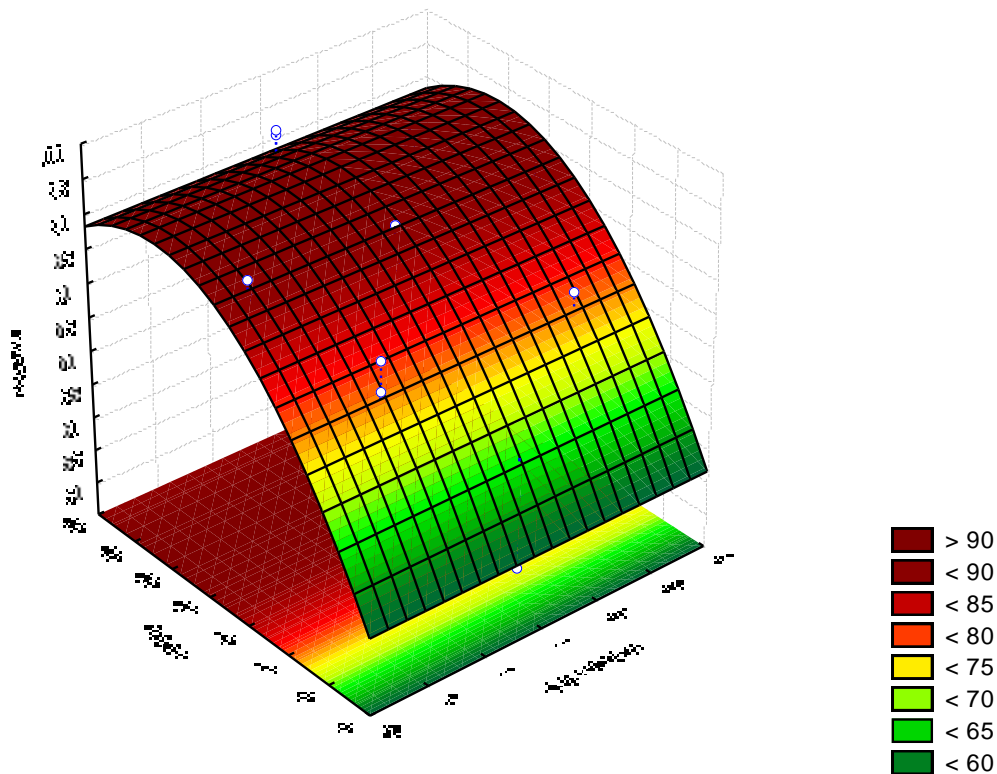
Figura 17 – Gráfico dos Valores observados versus Valores preditos para a Turbidez.



Fonte: Autoria própria (2019)

Posteriormente, foi plotado o gráfico de superfície de resposta considerando os fatores Tempo e Concentração bem como a variável resposta Turbidez, tal gráfico está disposto na Figura 18.

Figura 18 – Superfície de resposta para a variável resposta Turbidez



Fonte: Autoria própria (2019)

Para a remoção de turbidez utilizando apenas a solução coagulante de *Moringa oleifera* observou-se que a melhor remoção obtida correspondeu a 93% ocorrendo em dois momentos durante o ensaio, no tempo de 28 minutos quando aplicada a concentração de $14,45\text{mgL}^{-1}$ bem como no tempo de 33 minutos de sedimentação para a concentração intermediária de 18mgL^{-1} . Tal remoção de turbidez correspondeu, respectivamente, a um efluente final com turbidez de 27,7 UNT e 28,0 UNT.

Para o tratamento com solução de *Moringa oleifera* associada a nanopartícula a máxima remoção de turbidez também foi de 93%, tal porcentagem foi obtida através do uso de 18mgL^{-1} no tempo de 33 minutos de sedimentação e resultou em um efluente final com turbidez de 25,0 UNT.

Ao final do ensaio os resultados para a remoção de turbidez foram considerados satisfatórios uma vez que apenas seis tratamentos ficaram com turbidez acima de 100 UNT sendo quatro destes tratamentos sem a nanopartícula.

4.5 COR APARENTE

Na Tabela 23 estão os dados de Cor aparente (em mgPt-CoL⁻¹ e em porcentagem de remoção referente ao efluente bruto) analisados nos tratamentos onde o Tanino foi empregado como coagulante na presença e ausência da nanopartícula para todos os tempos de análise e concentrações estipulados anteriormente através do delineamento.

Tabela 23 – Valores de Cor aparente e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com Tanino.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	Tanino		Tanino associado a nanopartícula	
			mgPt-CoL ⁻¹	% de remoção	mgPt-CoL ⁻¹	% de remoção
1	14,45	8	510,0	62	461,0	66
2	21,55	8	303,0	77	234,0	83
3	14,45	28	481,0	64	430,0	68
4	21,55	28	299,0	78	221,0	84
5	13	18	594,0	56	489,0	64
6	23	18	358,0	73	354,0	74
7	18	3	460,0	66	321,0	76
8	18	33	330,0	75	227,0	83
9	18	18	395,0	71	247,0	82
10	18	18	395,0	71	247,0	82
11	18	18	395,0	71	247,0	82

Fonte: Autoria própria (2019)

Nos dados contidos na Tabela 23 é possível observar que o melhor resultado obtido para tratamento apenas com Tanino foi de 78% remoção, com efluente final correspondendo a 299,0 mgPt-CoL⁻¹, enquanto que para o coagulante em associação à nanopartícula essa remoção foi elevada para 84% com a mesma concentração e tempo de análise, tal remoção correspondeu a um valor final de 221,0 mgPt-CoL⁻¹. De modo geral, foi possível observar também que o Tanino quando associado a nanopartícula tem sua eficiência elevada.

Na Tabela 24 estão dispostos os efeitos obtidos a partir do tratamento dos dados dos tratamentos com Tanino e Tanino associado à nanopartícula. Nesta situação todos os efeitos demonstraram ser significativos uma vez que todos os valores correspondentes a Valor-p foram inferiores a 0,05.

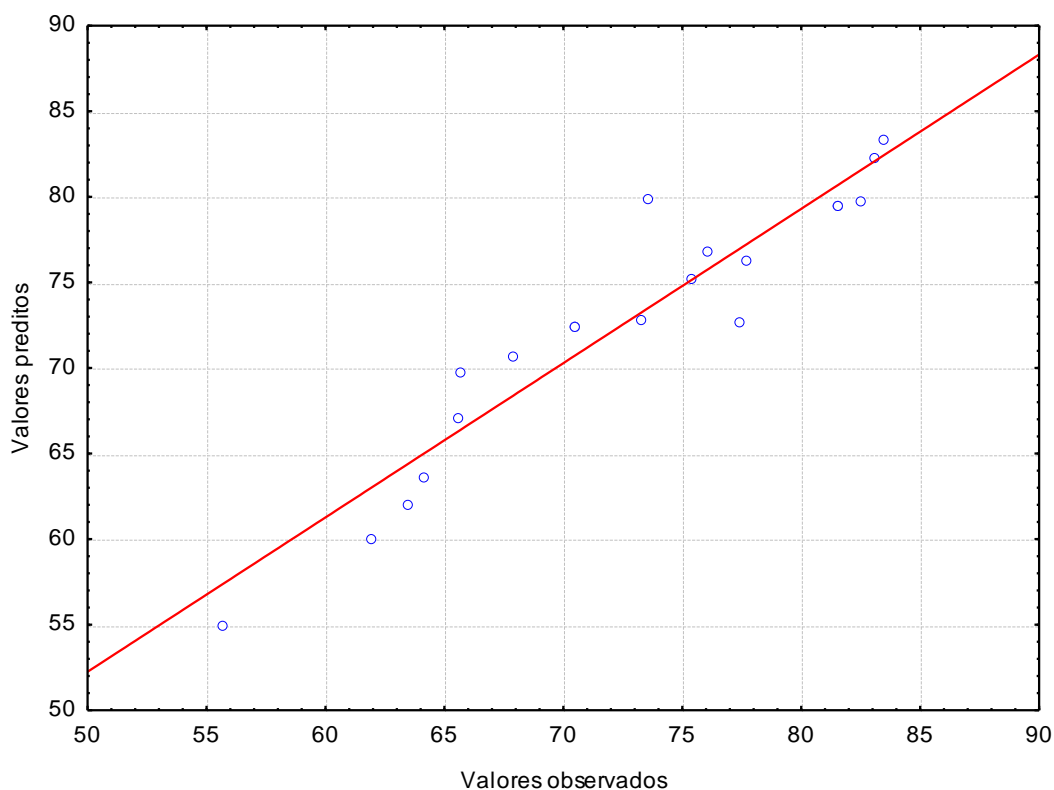
Tabela 24 – Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos significativos do modelo para a Cor aparente

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	T	Valor-p
Intercepto	76,001	0,823	92,337	0,000
Bloco	7,069	1,180	5,991	0,000
Concentração (C)	12,622	1,387	9,103	0,000
Concentração (C ²)	-8,647	1,585	-5,457	0,000
Tempo (T)	3,626	1,342	2,701	0,015

Fonte: Autoria própria (2019)

A estatística R² ajustada foi igual a 0,878, indicando que o modelo ajustado explica 87,8% da variação da Cor aparente. Abaixo é apresentada a Figura 19, a qual contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, sendo que quanto mais próximos os pontos estão da reta, melhor é o ajuste do modelo.

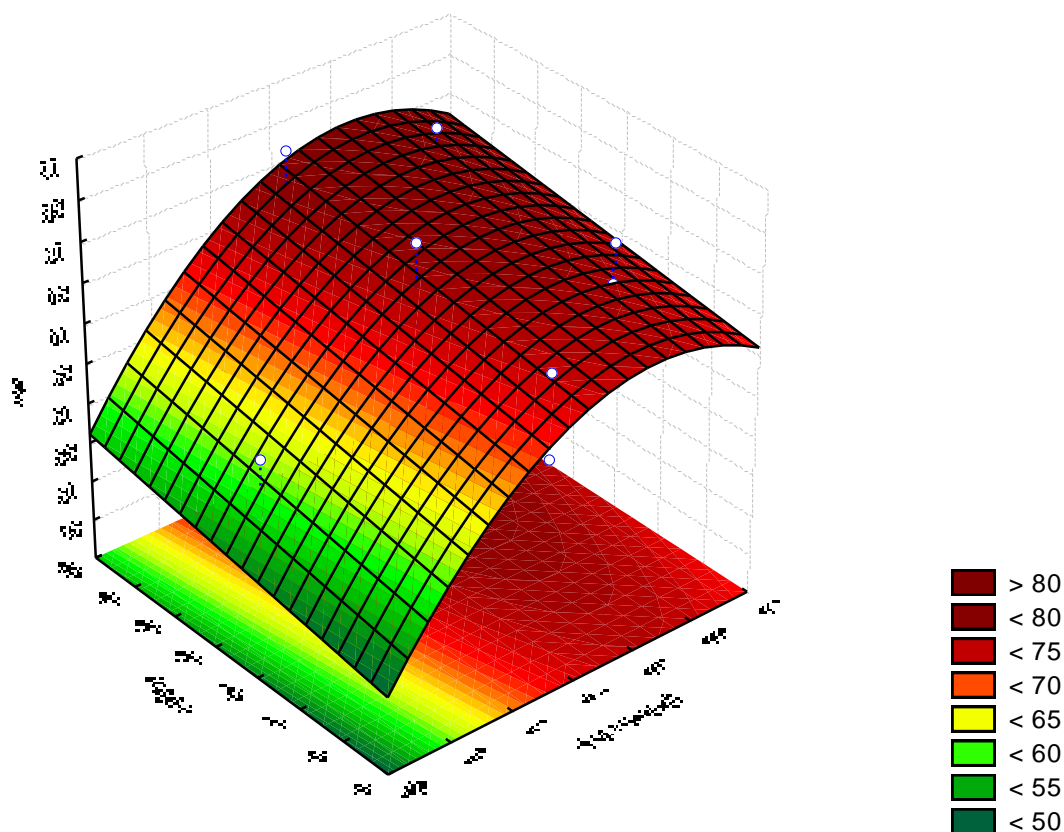
Figura 19 – Gráfico dos Valores observados versus Valores preditos para a Cor aparente.



Fonte: Autoria própria (2019)

Posteriormente foi plotado o gráfico de superfície de resposta considerando os fatores Tempo de análise e Concentração bem como a variável resposta Cor aparente, tal gráfico está disposto na Figura 20.

Figura 20 – Superfície de resposta para a variável resposta Cor aparente.



Fonte: Autoria própria (2019)

Para o ensaio onde utilizou-se apenas a solução coagulante de Tanino obteve-se eficiência de remoção máxima de cor aparente de 84% sendo essa na utilização da concentração de $21,55\text{mgL}^{-1}$ e no tempo de 28 minutos de sedimentação, percentual que corresponde a 299 mgPt-CoL^{-1} .

Quando se utilizou o coagulante Tanino em associação a magnetita foi possível observar que em todos os tratamentos a eficiência de remoção de Cor aparente aumentou, tendo sido a maior porcentagem 84%, eficiência que corresponde a um valor final de 221 mgPt-CoL^{-1} e que foi obtida utilizando concentração de $21,55\text{mgL}^{-1}$ no tempo de 28 minutos de sedimentação, tratamento de maior eficiência quando o Tanino também estava sozinho.

Assim, a análise estatística demonstrou que a eficiência do Tanino para diminuir a Cor aparente do efluente é potencializada a partir da associação do coagulante com a nanopartícula. Observou-se também que a concentração de maior eficiência não é necessariamente a maior nem mesmo a que age por maior tempo, mas sim a concentração de 21,55mgL⁻¹ sendo a melhor para os dois diferentes tipos de tratamento com Tanino.

Na Tabela 25 estão os dados de Cor aparente (em mgPt-CoL⁻¹ e em porcentagem de remoção referente ao efluente bruto) analisados nos tratamentos onde o coagulante a base de *Moringa oleifera* foi empregado na presença e ausência da nanopartícula para todos os tempos de análise e concentrações estipulados anteriormente através do delineamento.

Tabela 25 – Valores de Cor aparente e porcentagens de remoção analisados nos tratamentos com *Moringa oleifera*.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	<i>Moringa oleifera</i>		<i>Moringa oleifera</i> associada a nanopartícula	
			mgPt-CoL ⁻¹	% de remoção	mgPt-CoL ⁻¹	% de remoção
1	14,45	8	188,0	86	253,0	81
2	21,55	8	287,0	79	291,0	78
3	14,45	28	93,0	93	106,0	92
4	21,55	28	106,0	92	131,0	90
5	13	18	157,0	88	186,0	86
6	23	18	184,0	86	157,0	88
7	18	3	519,0	61	430,0	68
8	18	33	89,0	93	65,0	95
9	18	18	154,0	89	137,0	90
10	18	18	154,0	89	137,0	90
11	18	18	154,0	89	137,0	90

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao aplicar o tratamento empregando solução a base de *Moringa oleifera* a remoção máxima de Cor Aparente foi de 93% (89 mgPt-CoL⁻¹) dando-se essa em dois ensaios distintos, sendo o primeiro com a concentração de 14,45 mgL⁻¹ (28 minutos) e o segundo ensaio com concentração de 18 mgL⁻¹ (33 minutos).

Nos ensaios onde a solução de *Moringa oleifera* foi associada à nanopartícula a máxima porcentagem de remoção obtida para o parâmetro foi de 95% (65 mgPt-CoL⁻¹), porcentagem obtida quando se empregou a concentração de 18 mgL⁻¹ (33 minutos).

A Tabela 26 mostra os efeitos obtidos após a análise estatísticas de dados através do esquema fatorial em blocos, obtendo a informação de que apenas o Intercepto e o fator Tempo tiveram papel significativo no tratamento do efluente com a *Moringa oleifera* e que o acréscimo da nanopartícula do tratamento foi não significativo devido ao Valor-p.

Tabela 26 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos significativos do modelo para a Cor aparente

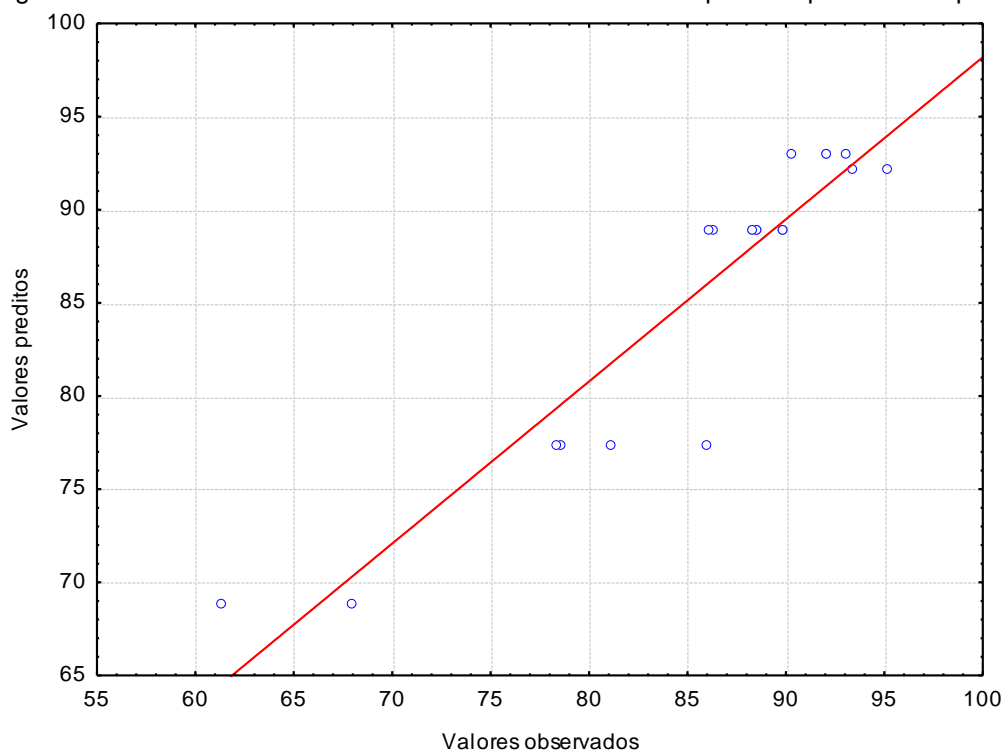
Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	88,930	0,910	97,719	0,000
Tempo (T)	15,588	1,514	10,293	0,000
Tempo (T^2)	-7,475	1,606	-4,654	0,000

Fonte: Autoria própria (2019)

A estatística R^2 ajustada foi igual a 0,857, indicando que o modelo ajustado explica 85,7% da variação da Cor aparente.

Abaixo é apresentada a Figura 21, a qual contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, sendo que quanto mais próximos os pontos estão da reta, melhor é o ajuste do modelo.

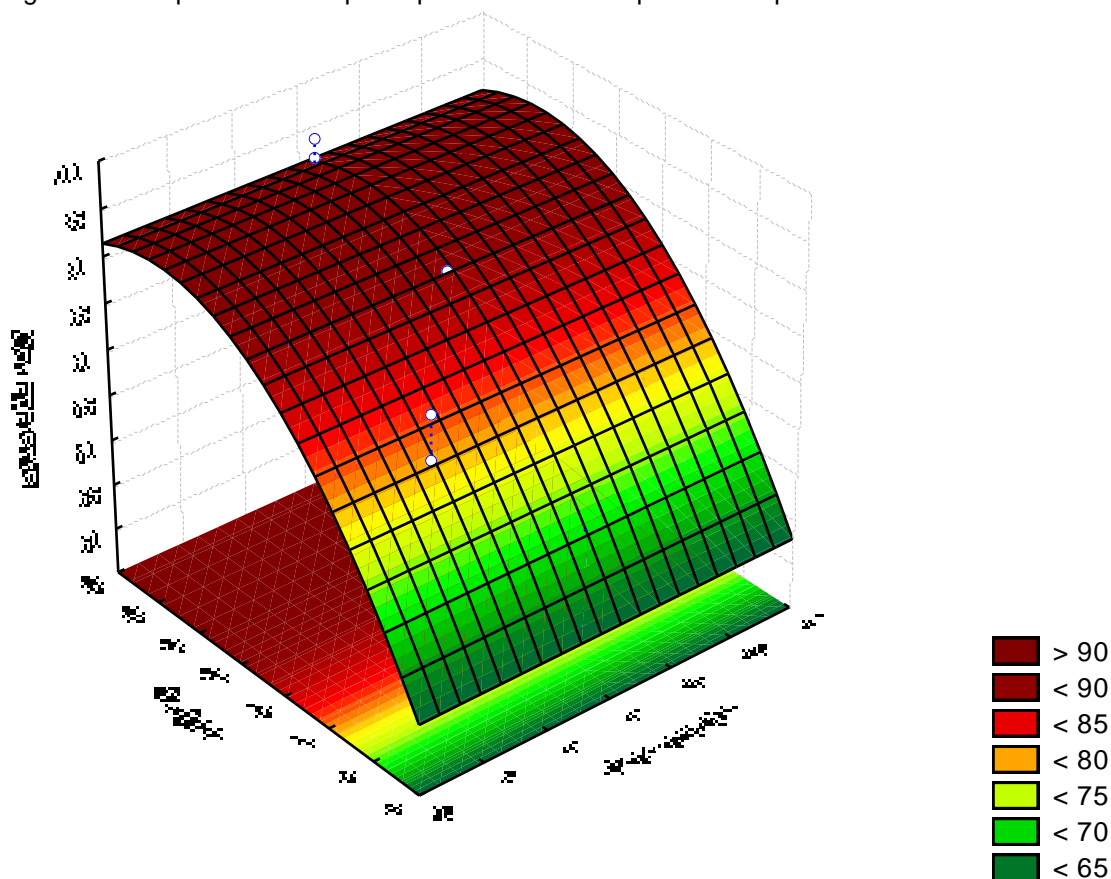
Figura 21 – Gráfico dos Valores observados versus Valores preditos para a Cor aparente.



Fonte: Autoria própria (2019)

Posteriormente foi plotada a superfície de resposta com os fatores Tempo e Concentração bem como a variável Cor Aparente, tal figura está disposta na Figura 22.

Figura 22 – Superfície de resposta para a variável resposta Cor aparente.



Fonte: Autoria própria (2019).

Ao analisar o gráfico de superfície de resposta nota-se que o fator de maior influência para a remoção de cor aparente, quando se utiliza o coagulante a base de *Moringa oleifera*, é o tempo de sedimentação.

Assim, ao final dos ensaios onde a *Moringa oleifera* foi o coagulante utilizado, concluiu-se que a melhor concentração da solução foi, para os dois blocos de tratamento (presença e ausência de nanopartícula), 18 mgL^{-1} (33 minutos), e além de ter sido a melhor concentração teve sua eficiência melhorada ao associar-se com a nanopartícula.

4.6. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

Na Tabela 27 estão os percentuais de eficiência de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) analisados nos tratamentos onde o coagulante Tanino foi empregado na presença e ausência da nanopartícula para todos os tempos de análise e concentrações estipulados anteriormente através do delineamento.

Tabela 27 – Dados de porcentagens de remoção de DQO analisados nos tratamentos com Tanino.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	DQO (% de remoção)	
			Tanino	Tanino associado a nanopartícula
1	14,45	8	58	51
2	21,55	8	63	69
3	14,45	28	65	73
4	21,55	28	70	74
5	13	18	57	62
6	23	18	63	67
7	18	3	61	63
8	18	33	68	76
9	18	18	66	72
10	18	18	66	72
11	18	18	66	72

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao empregar o coagulante Tanino para o tratamento do parâmetro DQO obteve-se melhor resultado utilizando a concentração de 21,55 mgL⁻¹ (28 minutos), onde a qual obteve remoção de 70% o que corresponde a um valor necessário de 176 mgL⁻¹. Já nos ensaios onde o coagulante foi associado a nanopartícula as eficiências na remoção de DQO tiveram, de modo geral, seus valores aumentados, tendo dessa vez a eficiência máxima obtida sendo 76% na utilização de 18 mgL⁻¹ (33 minutos).

Assim, de modo geral, observou-se que, quando o Tanino foi associado à magnetita as eficiências na remoção do parâmetro foram aumentadas mostrando até então que as nanopartículas aceleraram o processo de sedimentação retirando maior parte da matéria orgânica no efluente, diminuindo, portando a sua DQO.

A Tabela 28 apresenta os resultados para os efeitos significativos (valor- $p < 0,05$) para a variável DQO. Embora o efeito da Interação não tenha sido significativo, (valor- $p > 0,05$), este efeito foi mantido por ter valor- p próximo a 5% e sua inclusão melhora a qualidade do ajuste. Neste caso, a estatística R^2 ajustada foi igual a 0,786, indicando que o modelo ajustado explica 78,6% da variação de DQO.

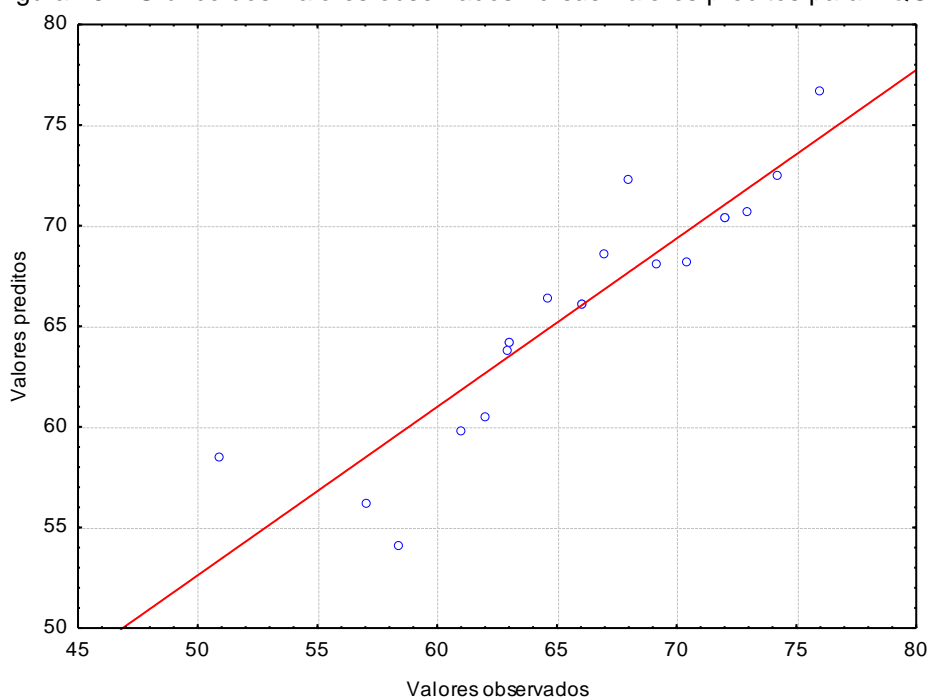
Tabela 28 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para DQO

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	68,252	0,847	80,588	0,000
Bloco	4,348	1,214	3,581	0,002
Concentração (C)	5,708	1,427	4,001	0,001
Concentração (C ²)	-5,917	1,631	-3,629	0,002
Tempo (T)	8,330	1,381	6,031	0,000
Interação (C*T)	-3,956	2,014	-1,965	0,067

Fonte: Autoria própria (2019)

Abaixo é apresentada a Figura 23, a qual contém o gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, sendo que quanto mais próximos os pontos estão da reta, melhor é o ajuste do modelo.

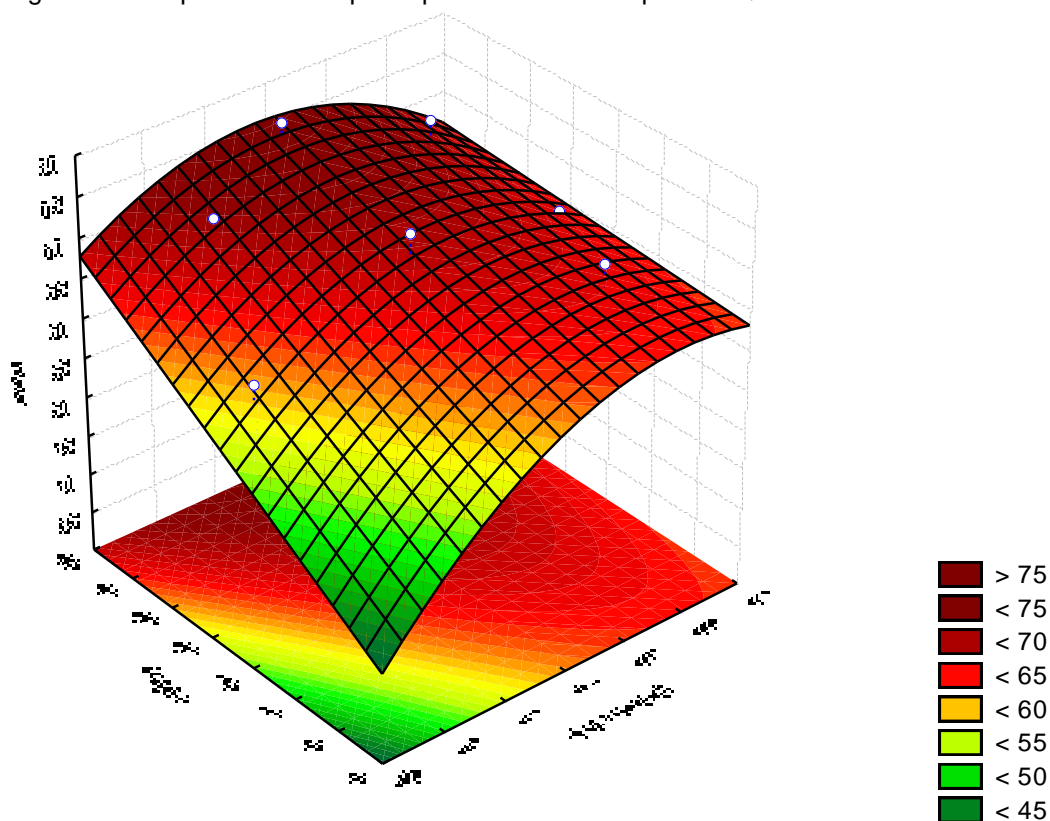
Figura 23 – Gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos para DQO.



Fonte: Autoria própria (2019)

Posteriormente foi plotado o gráfico de Superfície de Resposta referente à Demanda Química de Oxigênio considerando os fatores Tempo e Concentração de coagulante, tal gráfico está disposto na Figura 24.

Figura 24 – Superfície de resposta para a variável resposta DQO.



Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar o gráfico de superfície da variável resposta DQO observa-se que tanto o fator Tempo quanto o fator Concentração mostraram-se significativos para uma maior eficiência no tratamento.

Na Tabela 29 estão os percentuais de eficiência de remoção de Demanda Química de Oxigênio (DQO) analisados nos tratamentos onde o coagulante a base de *Moringa oleifera* foi empregado na presença e ausência da nanopartícula para todos os tempos de análise e concentrações estipulados anteriormente através do delineamento.

Tabela 29 – Dados de porcentagens de remoção de DQO analisados nos tratamentos com *Moringa oleifera*.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	DQO (% de remoção)	
			<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i> associada a nanopartícula
1	14,45	8	60	53
2	21,55	8	43	47
3	14,45	28	61	81
4	21,55	28	54	62
5	13	18	53	59
6	23	18	59	64
7	18	3	56	55
8	18	33	64	68
9	18	18	62	61
10	18	18	62	61
11	18	18	62	61

Fonte: Autoria própria (2019)

Ao utilizar a solução a base de *Moringa oleifera* para o tratamento do parâmetro DQO observou-se que a melhor concentração utilizada foi a de 18mgL⁻¹ (33 minutos), tratamento que também foi o mais efetivo quando associado a nanopartícula alcançando, respectivamente, uma porcentagem de eficiência na remoção de DQO de 64% e 68%.

Assim como no tratamento empregando o coagulante Tanino nota-se que, de modo geral, quando o coagulante associou-se à nanopartícula teve a sua eficiência elevada, indicando que a nanopartícula tem efeito positivo sobre ambos.

A Tabela 30 apresenta os resultados para os efeitos significativos (valor- $p < 0,05$) para a variável DQO.

Tabela 30 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para DQO

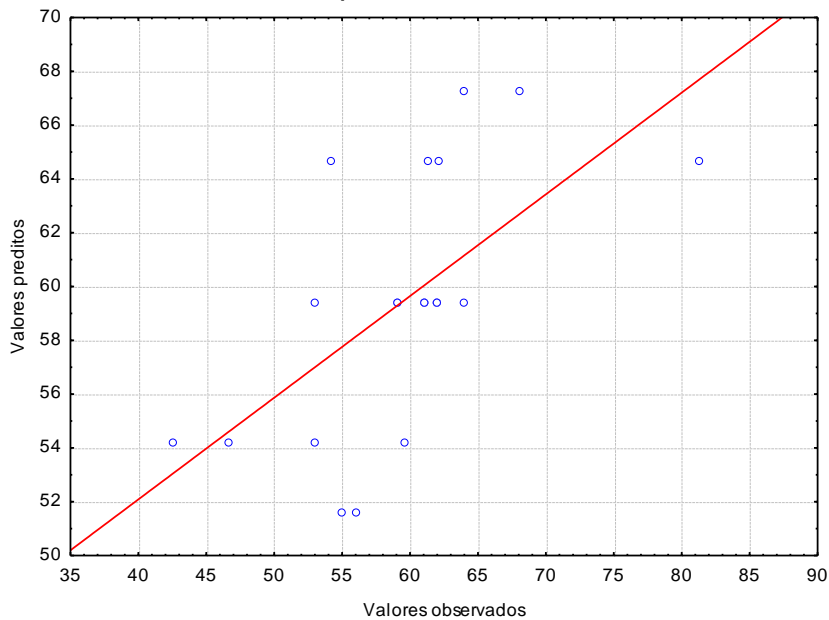
Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	59,433	1,313	45,257	0,000
Tempo (T)	10,417	2,988	3,487	0,002

Fonte: Autoria própria (2019)

O ajuste do modelo para os efeitos significativos do DQO resultou na estatística R² ajustada igual a 0,347. Observando esta estatística e o gráfico

dos Valores observados *versus* Valores preditos, mostrado na Figura 25 logo abaixo, nota-se que o modelo pouco explica a variação do DQO.

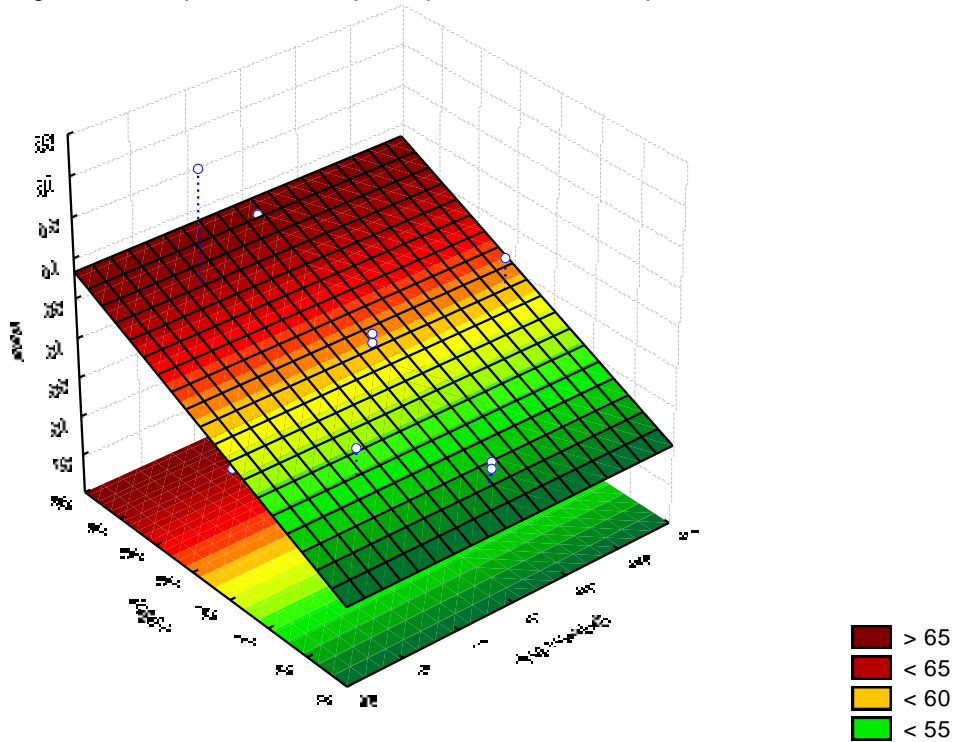
Figura 25 - Gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos para DQO.



Fonte: Autoria própria (2019)

Posteriormente foi plotado o gráfico de Superfície de Resposta referente a Demanda Química de Oxigênio considerando os fatores Tempo e Concentração de coagulante, tal gráfico está disposto na Figura 26.

Figura 26 – Superfície de resposta para a variável resposta DQO.



Fonte: Autoria própria (2019)

Ao analisar o gráfico contendo superfície de resposta observou-se que diferentemente do tratamento com o coagulante Tanino o fator de maior importância na aplicação do tratamento com a *Moringa oleifera* foi o Tempo, uma vez que todas as concentrações tiveram eficiências e comportamentos semelhantes durante os ensaios.

4.7 SÓLIDOS TOTAIS

Na Tabela 31 encontram-se os percentuais de eficiência de remoção no parâmetro Sólidos Totais, tais valores foram analisados nos tratamentos onde o coagulante Tanino foi empregado na presença e ausência da nanopartícula para todos os tempos de análise e concentrações estipulados anteriormente através do delineamento.

Tabela 31 – Dados de porcentagens de remoção de Sólidos Totais analisados nos tratamentos com Tanino.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	Sólidos Totais (% de remoção)	
			Tanino	Tanino associado a nanopartícula

1	14,45	8	96	96
2	21,55	8	94	94
3	14,45	28	96	94
4	21,55	28	94	94
5	13	18	95	95
6	23	18	94	96
7	18	3	93	94
8	18	33	96	94
9	18	18	94	95
10	18	18	94	95
11	18	18	94	95

Fonte: Autoria própria (2019)

Para o tratamento onde empregou-se apenas o Tanino foi observada uma remoção de Sólidos Totais que variou de 93% (Ensaio 7) a 96% (Ensaio 1, 3 e 8). Já para os tratamentos onde o coagulante foi associado à nanopartícula as eficiências de remoção variaram de 94% (Ensaio 2, 3, 4, 7 e 8) a 96% (Ensaio 1 e 6). Assim, de modo geral, é possível observar que a presença de nanopartículas aumentou as eficiências de remoção de Sólidos Totais.

Abaixo está apresentada a Tabela 32 com todos os efeitos, para a variável Sólidos totais.

Tabela 32 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para o modelo com todos os efeitos, para Sólidos

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	94,503	0,350	269,875	0,000
Bloco	0,229	0,366	0,625	0,541
Concentração (C)	-0,760	0,430	-1,766	0,098
Concentração (C ²)	0,540	0,518	1,041	0,314
Tempo (T)	0,339	0,416	0,813	0,429
Tempo (T ²)	-0,195	0,466	-0,418	0,682
Interação (C*T)	0,318	0,607	0,524	0,608

Fonte: Autoria própria (2019)

Para a variável, no ajuste inicial, apenas o Intercepto foi significativo (valor-p < 0,05). Outros ajustes foram testados, retirando, primeiro, os efeitos menos significativos, mesmo assim, não foram encontrados efeitos significativos nos modelos reduzidos. Desta forma, não há modelo ajustado,

visto que a variação das variáveis Sólidos é explicada apenas pela média geral (Intercepto).

Na Tabela 33 estão dispostos os percentuais de eficiência de remoção no parâmetro Sólidos Totais, tais valores foram analisados nos tratamentos onde o coagulante a base de *Moringa oleifera* foi empregado na presença e ausência da nanopartícula para todos os tempos de análise e concentrações estipulados anteriormente através do delineamento.

Tabela 33 – Dados de porcentagens de remoção de Sólidos Totais analisados nos tratamentos com *Moringa oleifera*.

Ensaio	Concentração (mgL ⁻¹)	Tempo de análise (minutos)	Sólidos Totais (% de remoção)	
			<i>Moringa oleifera</i>	<i>Moringa oleifera</i> associada a nanopartícula
1	14,45	8	96	96
2	21,55	8	97	97
3	14,45	28	96	96
4	21,55	28	97	97
5	13	18	96	96
6	23	18	95	96
7	18	3	96	96
8	18	33	97	97
9	18	18	97	97
10	18	18	97	97
11	18	18	97	97

Fonte: Autoria própria (2019)

A Tabela 33 mostra que para ambos os tratamentos onde empregou-se coagulante a base de *Moringa oleifera* as porcentagens variaram de 96% a 97% demonstrando que a presença da nanopartícula magnética não interfere na remoção de Sólidos Totais.....

A seguir, é apresentada a Tabela 34 com os efeitos significativos e seus resultados, para a variável Sólidos Totais no tratamento com coagulante a base de *Moringa oleifera*.

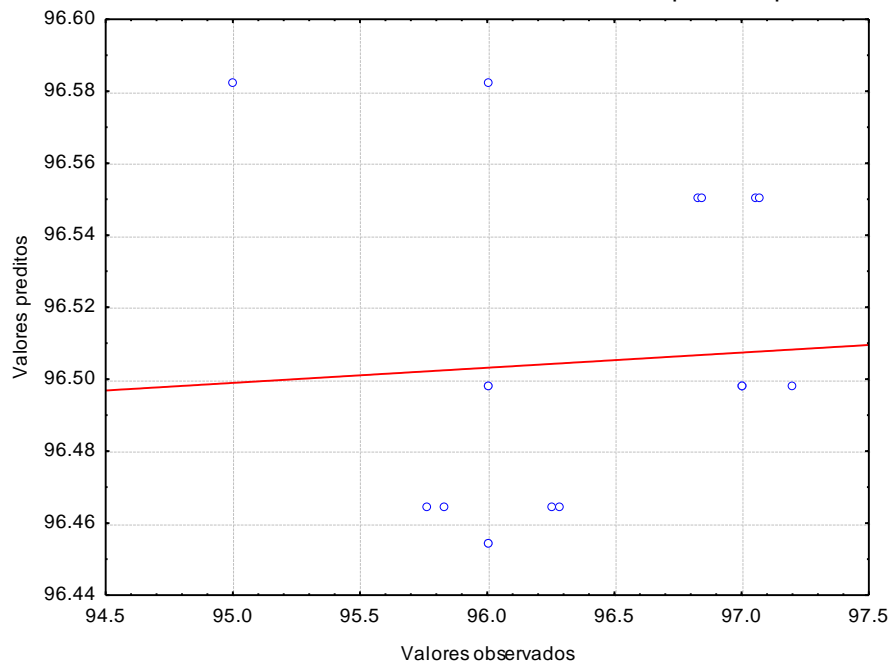
Tabela 34 - Coeficientes, erro padrão, estatística t e valor-p para os efeitos considerados no modelo para Sólidos

Efeitos	Coeficiente	Erro padrão	t	Valor-p
Intercepto	7,459	0,008	950,002	0,000
Concentração (C ²)	-0,041	0,015	-2,709	0,014

Fonte: Autoria própria (2019)

Para o modelo ajustado, a estatística R^2 ajustada foi igual a 0,381, indicando que tal modelo explica apenas 38,1% da variação dos Sólidos totais. Isso pode ser observado no gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos, apresentado abaixo na Figura 26, mostrando que o modelo ajustado não explica adequadamente a variação dos Sólidos Totais.

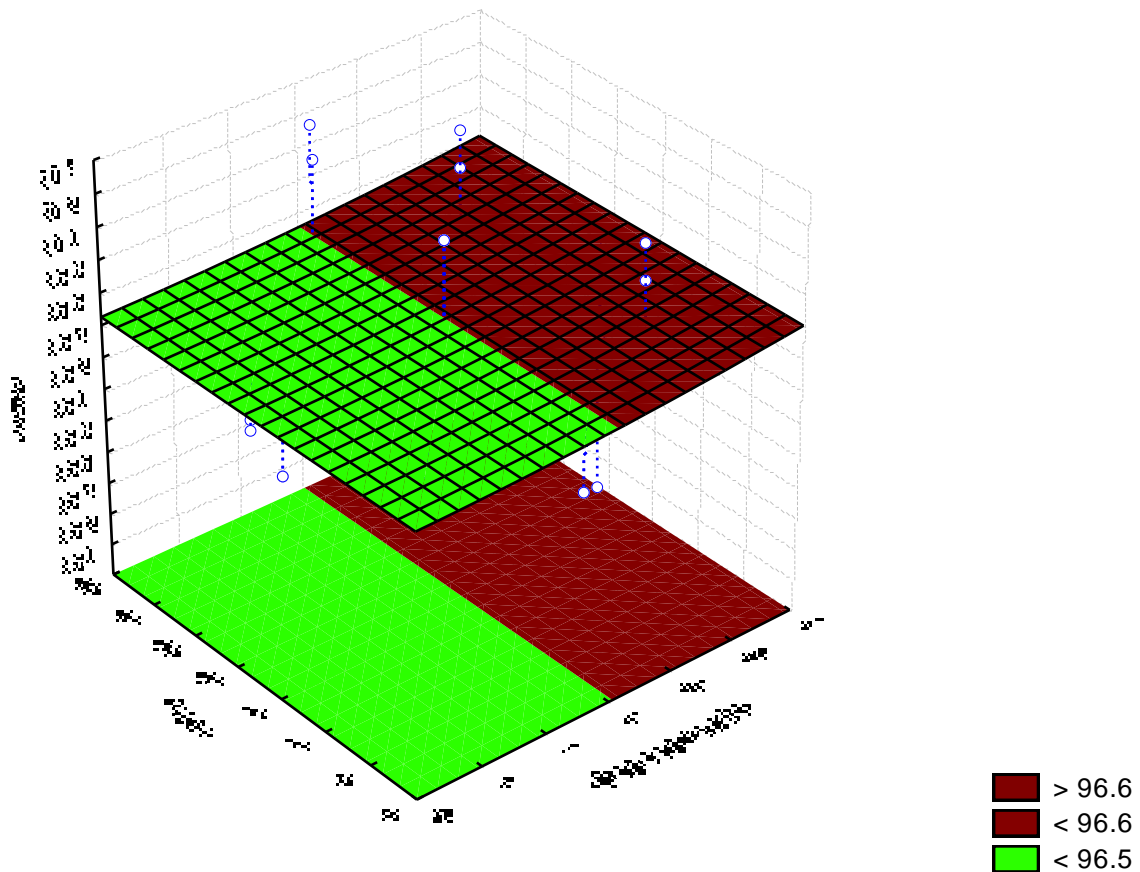
Figura 27 – Gráfico dos Valores observados *versus* Valores preditos para Sólidos Totais.



Fonte: Autoria própria (2019)

Posteriormente, foi plotado o gráfico de Superfície de Resposta referente a variável resposta Sólidos Totais considerando os fatores Tempo e Concentração de coagulante, tal gráfico está disposto na Figura 28.

Figura 28 – Superfície de resposta para a variável resposta Sólidos totais.



Fonte: Autoria própria (2019)

Após realizada as análises estatísticas e plotagem da superfície de resposta observa-se que as eficiências na remoção de sólidos totais foram semelhantes para os tratamentos com *Moringa oleífera* tendo ela sido associada ou não a nanopartícula magnetita. Também não houve diferença significativa quanto aos fatores tempo e concentração e o para remoção de tal parâmetro uma vez que foi observada eficiência entre 95% e 97% para todos os tratamentos.

6 CONCLUSÃO

Ao final, os resultados obtidos no presente estudo demonstraram que os coagulantes orgânicos quando associados à nanopartícula magnética magnetita têm suas eficiências de tratamento potencializadas.

Quanto aos parâmetros de pH, temperatura e condutividade elétrica, a presença da nanopartícula no tratamento se mostrou não significativa indicando, portanto, a não influência sobre tais parâmetros.

Quanto aos parâmetros de Cor aparente e Turbidez a nanopartícula quando associada a *Moringa oleifera* mostrou-se não significativa. Porém, o coagulante Tanino quando associado a magnetita teve suas eficiências de remoção elevadas para tais parâmetros, encerrando o ensaio com remoções máximas de 84% e 89%, respectivamente. Tais remoções deram-se com a mesma concentração de coagulante, sendo esta de $21,55\text{mgL}^{-1}$, analisada no tempo de 28 minutos de sedimentação.

Para a remoção de Sólidos Totais todos os tratamentos obtiveram remoções semelhantes, sendo, estatisticamente, não-significativas entre si. Já no parâmetro de DQO, o tratamento que mais se sobressaiu foi onde o Tanino estava associado à nanopartícula, obtendo a maior eficiência de remoção, sendo esta de 76%.

Assim, conclui-se que nanopartículas associadas a coagulantes orgânicos têm potencial para tornarem-se alternativas de tratamento de efluentes substituindo assim coagulantes inorgânicos amplamente utilizados atualmente.

REFERENCIAS

AMSTAD, E. ZURCHER, S., MASHAGHI, A., WONG, J. Y., TEXTOR, M., & REIMHULT, E. **Surface functionalization of single superparamagnetic iron oxide nanoparticles for targeted Magnetic resonance imaging.** *Small*, v. 5, n. 11, p. 1334–1342, 2009.

ALVES, M. M. **Uso da semente de *Moringa oleifera* no tratamento físico químico de água residuária de piscicultura**, 2015.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22ª ed. Washington, 2012.

ATKINSON, A. C. & DONEV, A. N. **Optimum Experimental Designs.** 1992.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos.** Campinas: Editora Unicamp, 1996.

BARBOSA, G. M. **Processo de clarificação convencional combinado com microfiltração visando ao reúso de efluente da indústria sucroalcooleira.** 2011. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2011.

BONGIOVANI M. C., KONRADT-MORAES L. C., BERGAMASCO R., LOURENÇO B. S. S. E TAVARES C. R. G. **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.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União.** Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da União.** Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio 2011.

CARDOSO, K. C. et al. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da *Moringa oleifera* Lam.** *Acta Scientiarum. Technology,* Universidade Estadual de Maringá, v. 30, n. 2, p.193-198, 2008.

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

CHIN, A.B. & YAACOB, I.I. **Synthesis and Characterization of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles via w/o Microemulsion and Massart's Procedure.** *Journal of Materials Processing Technology*, 191, 235-237, 2007.

DI BERNARDO, L. et al. **Tratamento de Água para Abastecimento por filtração direta.** Rio de Janeiro: ABES, RiMa. Projeto PROSAB 468p., 2005

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

GOMES, T. V. B.; SOUZA, T. D.; BRUZZE, P. F. B. **Tratabilidade de Água Superficial Utilizando Coagulantes Naturais à Base de Tanino e Extratos de Sementes de *Moringa oleífera*,** 2017.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2006.

FARIAS, F. A. & FERREIRA, R. L. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de fábrica de celulose não branqueada,** 2014.

FARIA, L. F. F.; MENDES, P; MORAES, E. J. C. **Tratamento de efluente oriundo da produção de queijos utilizando coagulantes naturais,** 2015.

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

LIN, J.; COUPERTHWAITTE, S.; MILLAR, G.J. Effectiveness of aluminium based coagulants for pre-treatment of coal seam water. *Separation and Purification Technology*, 177, 207–222, 2017.

MADRONA, G. S.; BRANCO, I. G.; SEOLIN, V. J.; ALVES FILHO, B. A.; FAGUNDESKLEN, M. R.; BERGAMASCO, R. **Evaluation of extracts of *Moringa oleífera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment.** *Acta Scientiarum Technology*, v. 34, n.3, p. 289-293, 2012.

MARTINS, L. R.; VEIT, M. T.; PALACIO, S. M.; GONÇALVES, G. C.; SANTOS, J. D., 2018. **Associação entre coagulantes e copolímero para o tratamento de efluente proveniente do processamento artesanal de pele de peixe,** 2018.

MATOS, A.T.; CABANELLAS, C.F.G.; CECON, P.R.; BRASIL, M.S.; MUDADO, C.S. **Efeito da concentração de coagulantes e do pH da solução na turbidez da água, em recirculação, utilizada no processamento dos frutos do cafeeiro.** *Engenharia Agrícola*, 27, 544-551, 2007.

MATTIETTO, R. A.; MATTA, V. M. **Utilização de um delineamento composto rotacional para avaliação microbiológica de polpas de açaí pasteurizadas**, 2012.

MOREIRA, I. **Estudo e comparação da eficiência da ação coagulante do polímero natural tanino e do cloreto férrico no tratamento de efluente têxtil**, 2016.

NDACIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. **Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using *Moringa oleifera***. Water Res. v. 29, n.2, p.703-710.1995. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004313549400161Y>>. Acesso em 18 out 2018.

NUNES, J. A.. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 6. ed. Aracaju: J. Andrade, 2012.

OKUDA, T.; BAES, A. U.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. **Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed**. Water Research, v. 33, n. 15, p.3373-3378, 1999.

OLSON, M. E.; FAHEY, J. W. **Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas**. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1071-1082, 2011.

PAVANELLI, G.; BERNARDO, L. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com turbidez elevada e cor verdadeira baixa**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Vitória, 2002.

PIANTÁ, C. A. V. **Emprego de coagulantes orgânicos naturais como alternativa ao uso do sulfato de alumínio no tratamento de água**. 78 f. Trabalho de Diplomação – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. **Contribution to the clarification of surface water from the *Moringa oleifera*: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic**. *Chemical Engineering Research and Design*, Elmsford, v.90, p.2346-2352, 2012.

PRITCHARD, M., CRAVEN, T., MKANDAWIRE, T., EDMONDSON, A. S., O'NEILL, J. G. **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.

SORIANI, M. **Eficiência da *Moringa oleifera* como coagulante natural em solução salina para água de abastecimento**, 2015

SCHWERTMANN, U. & CORNELL, R.M. **Iron oxides in the laboratory. Preparation and characterization.** New York, VCH Publ, 2000. 156p.

THEODORO, J. D. P. **Estudo dos mecanismos de coagulação/floculação para a obtenção de água de abastecimento para o consumo humano.** 2012. 184f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, área de desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. 2012.

VERMA, A.. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P.; 2011. **A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters.** Journal of Environmental Management, v. 93, p.154 - 168, 2012.

VIEIRA, A. M. S.; VIEIRA, M. F.; SILVA, G. F.; ARAÚJO, A. A.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VEIT, M. T.; BERGAMASCO, R. **Use of *Moringa oleifera* seed as natural adsorbent for wastewater treatment.** Water Airf Soil Pollution, Dordrecht, v. 206, p. 273-281, 2010. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s11270-009-0104-y>>. Acesso em 15 out 2018.