

II-043 - APLICAÇÃO DE *MORINGA OLEÍFERA* LAM COMPARADO AO CLORETO FÉRRICO PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTE PROVENIENTE DE INDÚSTRIA DE CAFÉ SOLÚVEL

Edilaine Regina Pereira⁽¹⁾

Professora Doutora do Departamento de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR

Thaís Hokama Paleari

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.

Gustavo de Souza Silva

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.

Joseane Débora Peruço Theodoro

Professora Doutora do Departamento de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.

Joelmir André Borssoi

Professor Doutor do Departamento de Matemática da Universidade Tecnológica Federal do Paraná UTFPR.

Endereço⁽¹⁾: Avenida dos Pioneiros, 3131, Bairro Morumbi, Londrina – PR, CEP: 86036370 - Brasil - Tel: (43) 3376-9259 - e-mail: edilainepereira@utfpr.edu.br

RESUMO

Detendo um terço da produção mundial de café, e sendo um grande pólo consumidor desses grãos, o Brasil concentra grandes indústrias do ramo de café solúvel. Diante da escassez e consciência ambiental, torna-se necessário o tratamento da água residuária dessa indústria, para que a mesma possa retornar ao ciclo sem comprometer o meio ambiente e os corpos hídricos, verificando novas possibilidades que sigam a tendência da utilização de produtos com preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade. Para isso, o presente trabalho teve por objetivos comparar a eficiência de aplicação do coagulante natural *Moringa oleífera* Lam e o coagulante químico cloreto férrico no tratamento de efluentes da indústria de café solúvel em processo de coagulação, floculação e sedimentação. Para otimizar os dados, foi utilizado o planejamento experimental Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), em que foram considerados como variáveis independentes a concentração e o tempo, e como variáveis dependentes os parâmetros analisados cor aparente, condutividade elétrica e potencial hidrogeniônico (pH). O tratamento com o coagulante natural *Moringa oleífera* Lam apresentou resultados aquém ao esperado em relação à utilização do coagulante químico cloreto férrico. As remoções de cor aparente foram de 27,5% para a *Moringa oleífera* Lam e 34,8% para o cloreto férrico. A condutividade elétrica aumentou consideravelmente para a *Moringa oleífera* Lam, estando numa média de 4,615 mS/cm e o cloreto férrico em 3,2 mS/cm em relação a 3,06 mS/cm do efluente bruto. A alteração do pH ficou em 8,205 e 7,47 para a *Moringa oleífera* Lam e cloreto férrico, respectivamente, e ambos estão dentro dos padrões sugeridos pela legislação. Apesar de não se apresentar tão eficiente como o cloreto férrico a moringa mostrou-se como uma alternativa para complementação do uso de coagulante químico.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulante Natural, Indústria de Café, Delineamento Composto Central Rotacional.

INTRODUÇÃO

Historicamente, o desenvolvimento urbano e industrial ocorreu ao longo dos rios, devido à disponibilidade de água para o abastecimento e a possibilidade de utilizar o rio como corpo receptor de efluentes. O aumento das atividades industriais, consequência do crescimento populacional, ocasionou uma grande demanda de água nos processos produtivos. Esse uso antrópico é atendido em maior parcela por meio da água corrente nos rios, recurso hídrico que corresponde a apenas 0,01% do total de água no planeta (LEME, 2010).

Dados da Associação Brasileira da Indústria de Café – ABIC (2013), juntamente com o Conselho Nacional de Abastecimento – CONAB (2014), retrata o Brasil como responsável por aproximadamente um terço da produção mundial de café, sendo o maior produtor e o segundo maior mercado consumidor deste grão, além de um dos maiores exportadores. Em sua cadeia produtiva, segundo a organização Water Footprint Network

(2004), estima-se que um total de 140 litros de água é consumido direta e indiretamente para que se possa tomar uma xícara dessa bebida.

Para tanto, o tratamento dos efluentes consiste em uma série de operações e processos unitários, destacando-se a coagulação, processo que envolve aplicação de produtos químicos para a remoção de compostos em solução, desestabilização de suspensões coloidais e de sólidos dificilmente removidos pela sedimentação ou filtração. E tendo a indústria de café solúvel uma geração de um efluente com alta carga orgânica derivada do processo de higienização de tanques e linhas de extrato de café nos processos de extração, concentração e secagem, torna-se necessário o seu tratamento para lançamento nos corpos hídricos, dentro dos padrões exigidos na legislação.

Pautada em fatores como ordem econômica, adequabilidade à água bruta, tecnologia de tratamento, custo e preservação de tanques, os coagulantes de sais e alumínio têm sido utilizados com mais frequência. Porém, seguindo uma tendência de produtos com maior preocupação com o meio ambiente e sustentabilidade, a utilização de coagulantes naturais no tratamento de efluentes vem apresentando vantagens em relação aos químicos, especialmente em relação à biodegradabilidade do lodo gerado, baixa toxicidade e baixo índice de produção de lodos industriais (MATOS, 2004).

Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo comparar a eficiência do uso do coagulante natural *Moringa oleífera* Lam e coagulante químico cloreto férrico em processos de coagulação/floculação/sedimentação no processo de tratamento de efluente de indústria de café solúvel.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se uma pesquisa experimental no Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Londrina, através de ensaio jar test (Figura 1).



Figura 1 – Equipamento jar test utilizado nos ensaios de coagulação/floculação e decantação.

Foram utilizados aproximadamente 100 litros de efluente, armazenados em recipientes de polietileno com capacidade para 30 L e 10 L, preservado em refrigeração, proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma empresa de café solúvel e captado na saída do decantador secundário, anterior a etapa de clarificação - onde é utilizado in loco o coagulante químico cloreto férrico.

O preparo da solução coagulante de cloreto férrico foi feito com 100g do mesmo e acrescido 1 litro de água destilada, havendo mistura.

A extração dos componentes ativos do coagulante natural *Moringa oleífera Lam* foi feita com a utilização de solução salina de NaCl na concentração de 1 M. Foram triturados 50g de semente juntamente com 1 litro de solução salina (água destilada + NaCl 1M) e feita a filtração dessa solução. Houve a necessidade de execução de um pré-ensaio para quantificar as soluções de concentrações limites de uso do coagulante natural e químico. Assim, foram adotadas as concentrações que obtiveram melhor eficiência (máxima e mínima) notando-se certo grau de floculação.

De acordo com Rodrigues e Lemma (2009), através das concentrações limites (-1,41 e +1,41) foi feito o planejamento do DCCR para obter as concentrações da solução de coagulante central (0) e limites intermediários (-1 e +1). A influência dos parâmetros foi feita através do DCCR, ou seja, um 2² incluindo 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios. As variáveis consideradas foram a concentração do coagulante e o tempo de coleta (Tabela 1).

Tabela 1 – Matriz do delineamento.

Valores Codificados			Valores Reais		
Ensaio	Concentração	Tempo de coleta	Concentração (mg/L)		Tempo de coleta (min)
			<i>Moringa Oleífera Lam</i>	Cloreto férrico	
1	-1	-1	1372,7	129,1	8,38
2	1	-1	1727,3	270,9	8,38
3	-1	1	1372,7	129,1	34,62
4	1	1	1727,3	270,9	34,62
5	-1,41	0	1300	100	21,5
6	1,41	0	1800	300	21,5
7	0	-1,41	1550	200	3
8	0	1,41	1550	200	40
9	0	0	1550	200	21,5
10	0	0	1550	200	21,5
11	0	0	1550	200	21,5

Foram adicionados a concentração dos coagulantes nos jarros do Equipamento jar test contendo o efluente, e adotado uma mistura rápida (coagulação), equivalente a 3 minutos com rotação de aproximadamente 20 s⁻¹, abreviando o início de formação dos flocos.

Segundo Nunes (2012) “após haver a coagulação no tanque de mistura rápida, o efluente passará para a unidade subsequente de mistura lenta, cujo gradiente de velocidade deverá situar-se entre 20 e 80 s⁻¹, objetivando fazer com que os coágulos, que são partículas desestabilizadas, tendam a formar agora partículas maiores denominadas flocos [...]. Além disso é importante salientar que, para haver formação de flocos perfeitamente grandes e com densidade suficiente para boa sedimentação, o tempo de agitação deverá ficar em torno de 30 minutos”.

Ao final, o equipamento foi desligado e iniciado o processo de sedimentação. A partir disso, foi iniciada a coleta, nos tempos definidos no planejamento DCCR.

A metodologia analítica para determinação dos parâmetros atenderam as especificações contidas no Standard Methods of Examination and Water and Wastewater (APHA, 2012) (Tabela 2).

Tabela 2 – Parâmetros analisados e métodos de análise.

Parâmetro	Equipamento (modelo)	Metodologia
Potencial hidrogeniônico (pH)	pHmetro de bancada Tecnocon mPA 210	4500-H+ B
Cor aparente	Espectrofotômetro Hach 4000	2120 C
Condutividade elétrica	Condutivímetro Mca 150	2510 A

RESULTADOS PARA COR APARENTE

Para as diferentes concentrações de *Moringa oleifera* Lam utilizadas, a que obteve maior eficiência de remoção de cor foi a concentração mínima de 1372,7 mg/L e tempo de sedimentação de aproximadamente 9 minutos. Isso significa 27,5% de eficiência de remoção de cor neste caso. Para a concentração máxima de 1800 mg/L também obteve-se uma porcentagem de eficiência de remoção de cor próxima de 25,6%, porém com tempo de sedimentação médio de 21 minutos.

Com a utilização do cloreto férrico, foi obtida uma melhor porcentagem de remoção de cor aparente. A maior remoção de cor ocorreu para a concentração 129,1 mg/L para aproximadamente 35 minutos de sedimentação e percentual de 34,8% de remoção. Numa mesma concentração e para um tempo de aproximadamente 9 minutos, temos que a porcentagem de remoção de cor foi apenas 0,2% e por isso admite-se que quanto maior o tempo de sedimentação, maior é a eficiência de remoção de cor.

Como pode ser observado pela Figura 2, grandes concentrações de coagulante não garantem a melhor remoção de cor, sendo a variável independente tempo o fator mais significativo.

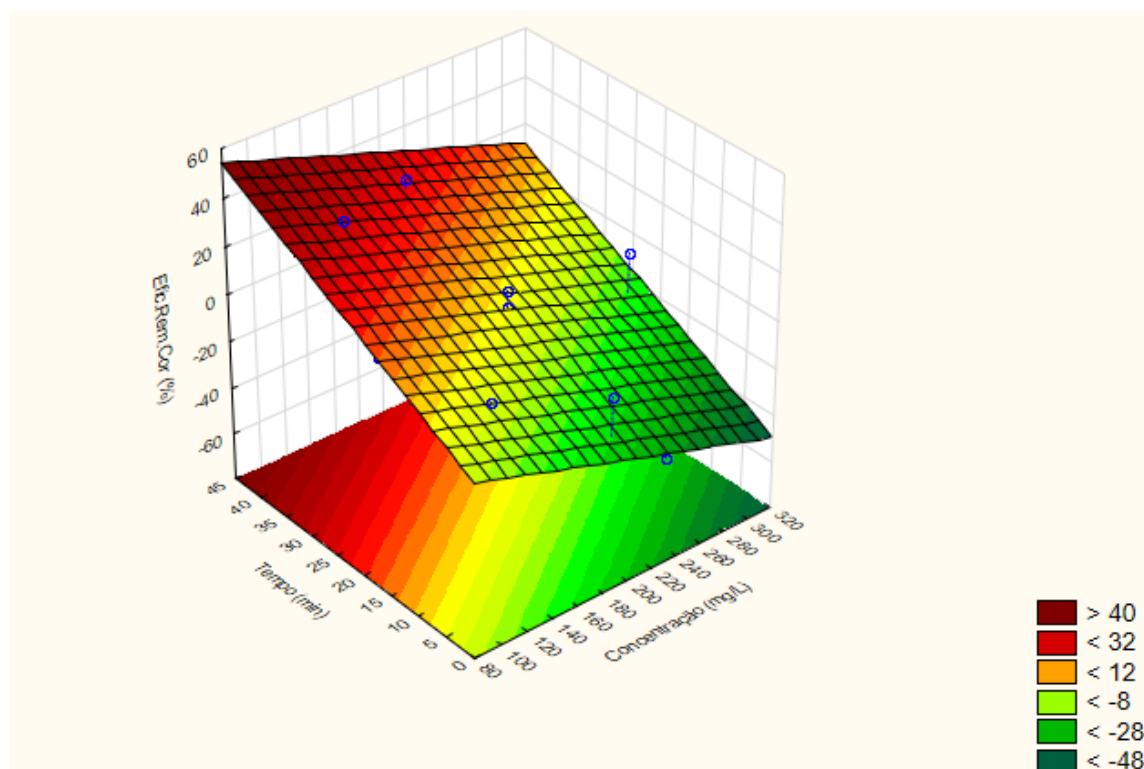


Figura 2 - Superfície de resposta para a variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores ajustados para o cloreto férrico.

Através dos coeficientes de regressão dos fatores significativos foi gerado um modelo matemático para o parâmetro analisado, no qual a variável resposta é representada pela Equação (1), de forma codificada, em que C_1 representa a Concentração linear e T_1 o Tempo linear.

$$\text{Efic.Rem.Cor} = -25,2671C_1 + 35,5557T_1$$

equação (1)

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para o cloreto férrico, foi avaliada pelo teste F, obtido por meio da análise de variância (ANOVA) (Tabela 3).

Tabela 3 - ANOVA para variável resposta eficiência de remoção de cor (%) com os fatores significativos para o cloreto férrico.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	1	3794,4535	3794,453504	17,71673329	3,36
Resíduo	9	1927,5609	214,1734281		
Total	10	5722,0144			

Nota-se que o modelo matemático se apresenta de forma significativa e, em virtude de ser uma análise na área de saneamento foi utilizado o índice de significância de 10%.

O modelo ajustado, apresentado na Equação (1), possui um R^2 ajustado de 0,57892, assim o modelo explica 58% da variação em relação a variável resposta. Por isso, o modelo se ajusta de forma moderada aos dados experimentais.

RESULTADOS PARA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Para a *Moringa oleífera Lam*, a condutividade elétrica das amostras variou entre 4,38 a 4,85 mS/cm, as mesmas apresentando elevação da condutividade em comparação com o efluente bruto, que obteve uma condutividade de 3,06 mS/cm. Esse fato é explicado devido a solução salina do coagulante de *Moringa oleífera Lam*, que necessita de NaCl para aumentar a potencialidade de sua proteína, aumentando a ação coagulante. Quanto maior a quantidade de sal na solução, maior sua condutividade do meio.

A Figura 3 mostra que quanto maior a concentração de coagulante empregada, maior é a condutividade elétrica.

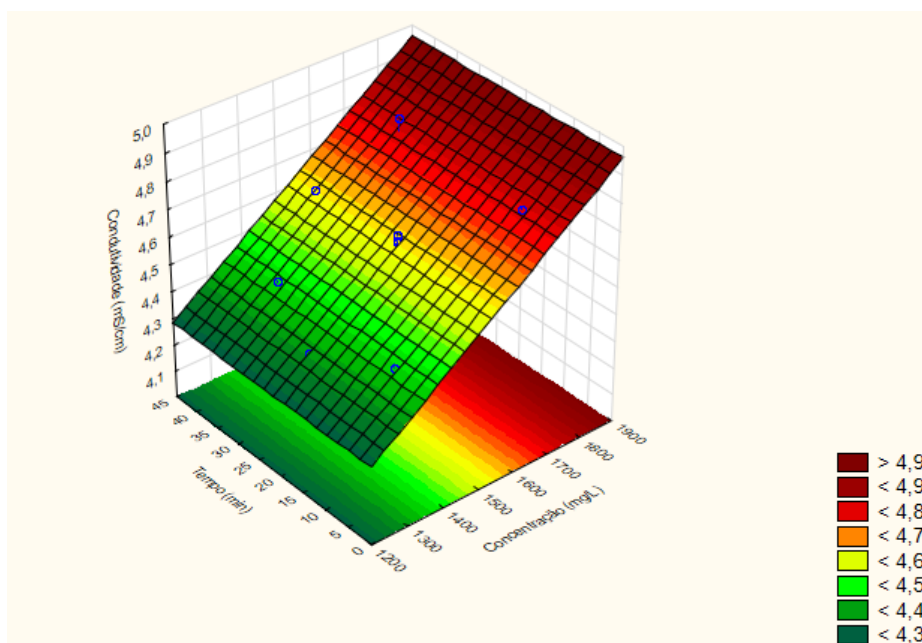


Figura3 - Superfície de resposta para a variável resposta condutividade com os fatores ajustados para a *Moringa oleífera Lam*.

E a Figura 4 indica a interferência das variáveis no modelo, mostrando que a concentração linear é a que mais interfere no processo.

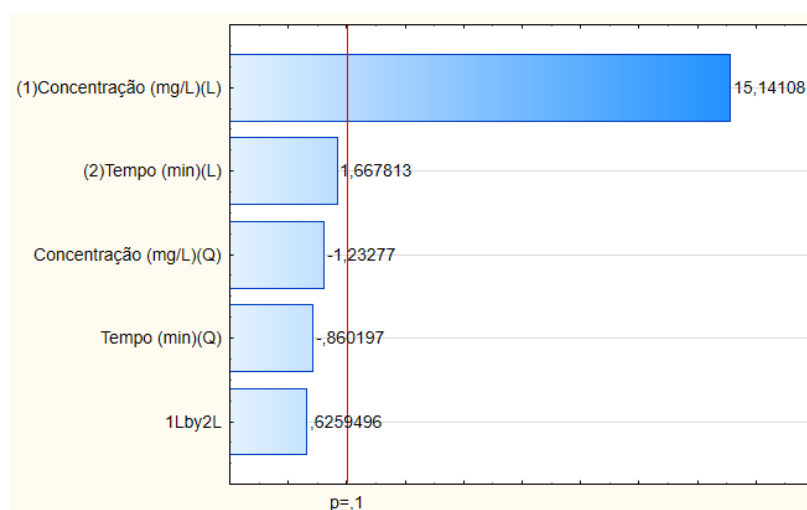


Figura 4 - Gráfico de Pareto para variável resposta condutividade para a *Moringa oleífera Lam*.

Pelo Equação (2), o modelo representado possui um R^2 ajustado de 0,9537, ou seja, o modelo explica 95% da variação em relação a variável resposta condutividade. Portanto, o modelo se ajusta adequadamente os dados experimentais.

$$\text{Condutividade} = 4,622727 + 0,342589C_1 \quad \text{equação (2)}$$

Para o coagulante químico cloreto férrico, a condutividade obteve uma pequena variação entre 3,14 e 3,26 mS/cm, havendo um leve aumento da condutividade apresentada pelo efluente bruto (3,06 mS/cm). Não houve parâmetro, concentração ou tempo, que se sobressaiu em relação a variável resposta condutividade.

RESULTADOS PARA ALTERAÇÃO DO pH

O pH das amostras, para o coagulante natural *Moringa oleífera Lam*, variou entre 8,05 e 8,36. Em relação ao efluente bruto, em que o pH foi de 7,76, o mesmo tornou-se levemente mais básico. A Figura 5 mostra que as diferentes concentrações e os tempos de sedimentação não obtiveram uma significância nesse parâmetro.

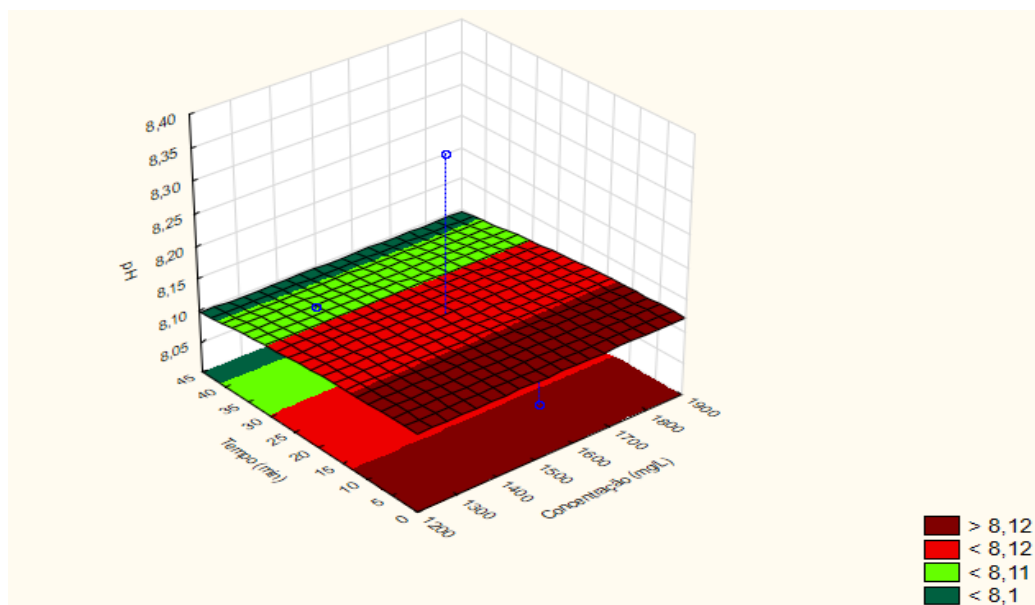


Figura 5 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para a *Moringa oleífera Lam.*

Para o cloreto férrico, o pH da amostra variou de 7,30 a 7,64, não havendo muita alteração em comparação com o pH do efluente bruto (7,76). Através da Figura 6, nota-se que as concentrações e os tempos de sedimentação têm influência sobre o parâmetro analisado.

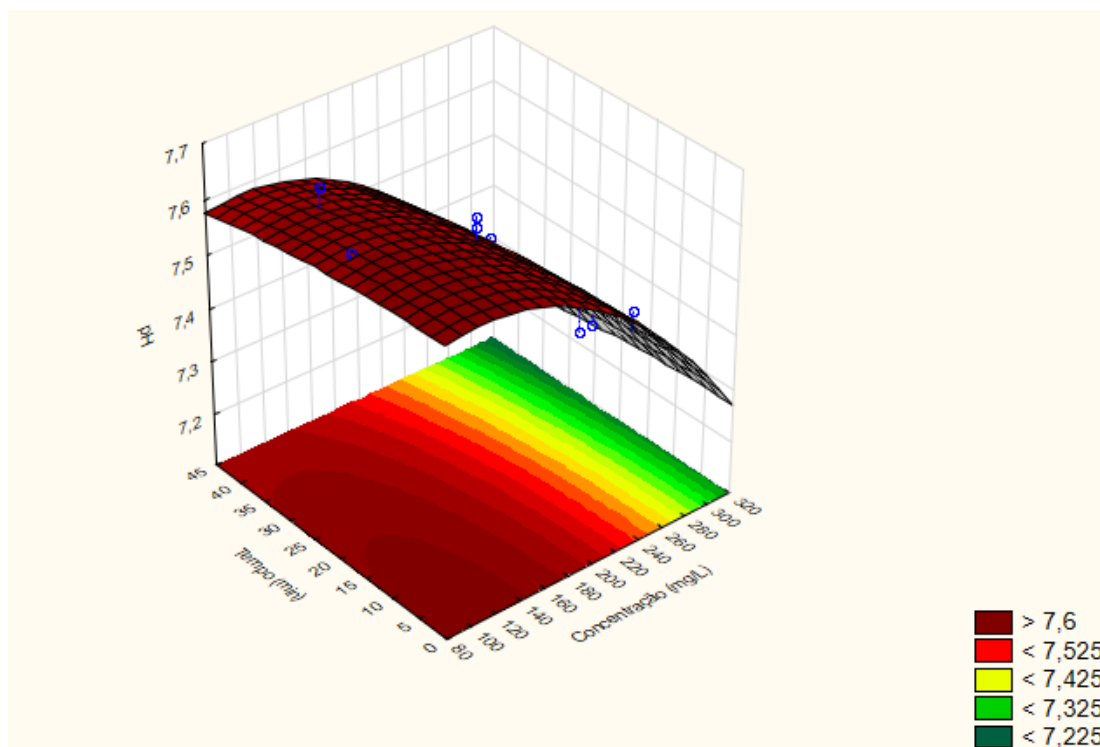


Figura 6 - Superfície de resposta para a variável resposta pH com os fatores ajustados para o cloreto férrico.

Estatisticamente, os efeitos das variáveis independentes podem ser visualizados na Figura 8.

Factor	Effect	Std.Err.	t(5)	p	-90, % Cnf.Limt	+90, % Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-90, % Cnf.Limt	+90, % Cnf.Limt
Mean/Interc.	7,593163	0,020668	367,3817	0,000000	7,551515	7,634811	7,593163	0,020668	7,551515	7,634811
(1)Concentração (mg/L)(L)	-0,211926	0,025348	-8,3608	0,000401	-0,263003	-0,160850	-0,105963	0,012674	-0,131501	-0,080425
Concentração (mg/L)(Q)	-0,105903	0,030237	-3,5024	0,017240	-0,166832	-0,044974	-0,052951	0,015119	-0,083416	-0,022487
(2)Tempo (min)(L)	-0,012663	0,025351	-0,4995	0,638624	-0,063746	0,038420	-0,006331	0,012675	-0,031873	0,019210
Tempo (min)(Q)	-0,085829	0,030250	-2,8373	0,036361	-0,146785	-0,024873	-0,042915	0,015125	-0,073392	-0,012437
1L by 2L	-0,040000	0,035799	-1,1174	0,314638	-0,112137	0,032137	-0,020000	0,017899	-0,056068	0,016068

Figura 8 - Efeitos estimados dos fatores para variável resposta pH para o cloreto férrico.

(L) = Linear; (Q) = Quadrático; 1L by 2L = Concentração*Tempo; p = p-valor; Std. Err.= Erro padrão efeito; Std. Err. Coeff.= Erro padrão do coeficiente.

Por possuírem um p-valor < 0,10, tem-se que a Concentração linear e quadrática e Tempo quadrático foram significativos no modelo. Enquanto o Tempo linear e a interação Concentração e Tempo não foram significativos, com p-valor > 0,10.

Pelos coeficientes de regressão dos fatores significativos foi gerado um modelo matemático para a variável resposta analisada, o qual é apresentado pela Equação (3), de forma codificada, em que C_1 representa a Concentração linear, C_1^2 a Concentração quadrática e T_1^2 o Tempo quadrático.

$$pH = 7,593163 - 0,211926C_1 - 0,105903 C_1^2 - 0,085829 T_1^2 \quad \text{equação (3)}$$

A significância do modelo matemático, gerado pelos dados experimentais para a variável resposta pH foi avaliada pela ANOVA. Tem-se pela Tabela 4 que o Fcalculado foi maior que o Ftabelado, então, o modelo matemático foi significativo.

Tabela 4 - ANOVA para variável resposta pH com os fatores significativos para o cloreto férrico.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Somas de Quadrados	Quadrado Médio	Fcalculado	Ftabelado
Regressão	3	0,1016	0,033853527	14,07261696	3,07
Resíduo	7	0,0168	0,002405631		
Total	10	0,1184			

O modelo da Equação 3 possui um R^2 ajustado de 0,8994, assim o modelo explica 90% da variação em relação a variável resposta. Por isso, o modelo se ajusta bem aos dados experimentais.

CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÕES

O estudo da utilização do coagulante natural *Moringa oleífera* Lam no tratamento adotado (coagulação/floculação/sedimentação) mostrou-se menos eficiente em relação com a utilização do coagulante químico cloreto férrico. Mesmo assim houve um resultado positivo a nível de remoção dos elementos. Por ser um efluente carregado de matéria orgânica, o emprego da flotação poderia vir a ser mais interessante. As remoções de cor aparente foram de 27,5% para a *Moringa oleífera* Lam e 34,8% para o cloreto férrico. A condutividade elétrica consideravelmente para a *Moringa oleífera* Lam, estando numa média de 4,615 mS/cm e o cloreto férrico em 3,2 mS/cm em relação a 3,06 mS/cm do efluente bruto. A alteração do pH ficou em 8,205 e 7,47 para a *Moringa oleífera* Lam e cloreto férrico, respectivamente, e ambos estão dentro do permitido pela legislação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Washington, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ – ABIC. Produção Mundial de Café: Principais Países Produtores. Disponível em: <<http://www.abic.com.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=48#2810>>. Acesso em: 22 set. 2014.
3. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Levantamentos de safras. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&>>. Acesso em: 22 set. 2014.

4. LEME, Edson J. A. Manual prático de tratamento de águas residuárias. São Carlos: EdUFSCar, 595 p., 2010.
5. MATOS, Antônio T. Práticas de manejo e tratamento de resíduos agroindustriais. Caderno Didático, n. 32, 52p. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, 2004.
6. NUNES, José A. Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais. 6^o edição revisada, ampliada e atualizada – Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade. 315p. 2012.
7. RODRIGUES, Maria I.; LEMMA, Antonio F. Planejamento de Experimentos & Otimização de Processos. 2 ed. Campinas, SP: Editora AMIC, 2009.
8. WATER FOOTPRINT NETWORK - WFN. Pegada Hídrica. Universidade de Twente, Holanda, 2004. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>>. Acesso em: 20 mar. 2014.