

II-148 - UTILIZAÇÃO DO TANINO OBTIDO A PARTIR DA CASCA DE LARANJA E DA MUCILAGEM DE CHIA COMO COAGULANTE E AUXILIAR DE COAGULAÇÃO NO PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE AGROINDUSTRIAL

Claudia Luiza Manfredi Gasparovic⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira/PR.

Bruna dos Santos Cunha Goedert⁽²⁾

Engenheira Ambiental e Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira/PR.

Simone Luzia Rovaris⁽³⁾

Tecnóloga em Gestão Ambiental e Especialista em Gestão Ambiental em Municípios pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira/PR.

Juliana Bortoli Rodrigues Mees⁽⁴⁾

Doutora em Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Professora e Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Medianeira/PR.

Ismael Laurindo Costa Junior⁽⁵⁾

Doutorando em Química dos Recursos Naturais pela Associação Ampla UEL/UEPG/UNICENTRO. Professor e Pesquisador do Departamento de Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Medianeira/PR.

Endereço⁽¹⁾: Rua Cipreste, 50 – Parque verde - Cascavel - PR - CEP: 63785807-700 - Brasil - Tel: (45) 99837722 - e-mail: claudia_luizamg@hotmail.com

RESUMO

A busca por coagulantes orgânicos se mostra um campo de pesquisa muito promissor, uma vez que possibilitam o tratamento de águas e efluentes sem incorrer nos danos ambientais da utilização dos coagulantes convencionais, que contêm metais como ferro e alumínio. Neste trabalho, investigou-se a atuação do tanino extraído da casca da laranja e da mucilagem extraída da chia como coagulante e floculante, respectivamente, para o tratamento de efluente líquido industrial proveniente de abatedouro e frigorífico, verificando-se os parâmetros resposta DQO e Turbidez. O teste de dosagem mínima para o extrato da casca da laranja indicou uma atuação como coagulante, tendo-se obtido a dosagem mínima de 100 ppm. Prosseguiu-se à realização de ensaios de modo a constituir um planejamento experimental ²², com quatro ensaios fatoriais e três repetições nos pontos centrais, sendo a Turbidez final a variável resposta. Obteve-se uma turbidez final mínima de 74 NTU, representando remoção de 27%, para o nível inferior, de 200 ppm. Também foi possível obter um modelo linear da Turbidez final em função do parâmetro estatisticamente significativo, a concentração de extrato de laranja. O modelo se mostrou válido pela Análise de Variância, e obteve-se uma região ótima para a variável por meio de Superfície de Resposta. Os resultados foram subsídios para a elaboração de um DCCR, com uma mudança na faixa de estudos. Os ensaios mostraram uma remoção máxima de turbidez de 33,49 %, para a condição central, de 250 ppm. Procurou-se construir um modelo quadrático, porém nenhum dos termos se mostrou estatisticamente significativo, dentro da faixa de estudo. A construção de uma Superfície de Resposta, embora não estatisticamente válida, permitiu visualizar uma suposta região ótima no ponto central. Assim, embora não tenha produzido modelo válido, o DCCR corrobora a condição ótima obtida para o extrato da laranja, de cerca de 200-250 ppm, bem como que o extrato da chia não é estatisticamente significativo para a faixa de estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação/Floculação, Colóides, Biopolímeros.

INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial encontra-se em ampla expansão no Brasil. Esta ampliação, contudo, pode gerar problemas de cunho ambiental, uma vez que este tipo de indústria consome grandes volumes de água para o processamento de seus produtos e limpeza de seus equipamentos. Após a utilização das águas, diversos resíduos são incorporados alterando suas características físicas, químicas e biológicas, gerando assim os efluentes, que possuem elevados teores de matéria orgânica, gorduras, sólidos suspensos e nutrientes (BRIÃO; TAVARES, 2012).

Dentre os processos físico-químicos empregados no tratamento de efluentes industriais, destaca-se a coagulação/floculação. Este processo promove a desestabilização e agregação das partículas coloidais, formando flocos maiores e mais densos, passíveis de separação, e objetiva o condicionamento do despejo para o tratamento subsequente, sendo possível através do emprego de coagulantes, geralmente sais de ferro e polímeros sintéticos utilizados como floculantes (SCHOENHALS, et al., 2006).

No tratamento de efluentes industriais geralmente são utilizados coagulantes químicos, como os sais de alumínio e ferro, principalmente por serem de baixo custo. Entretanto, esses sais tem se apresentado ambientalmente indesejáveis, pois produzem grande volume de lodo que podem disponibilizar íons solúveis que comprometem à saúde humana, acarretando custos adicionais com produtos químicos para correção do pH. Consequentemente faz-se necessário buscar coagulantes ambientalmente mais compatíveis (SILVA et al., 2003).

Uma alternativa para minimizar esses problemas é substituir o uso de polímeros inorgânicos, como o cloreto férrico, por polímeros orgânicos ou polieletrólitos naturais. Estes são biodegradáveis e não tóxicos, geram um menor volume de lodo com menor teor de metais, podendo esse lodo ser destinado a outros fins, como o uso agrícola, visto que muitos destes produtos naturais fazem parte da alimentação humana ou animal (SANTOS et al., 2010).

Os coagulantes de origem orgânica naturais ou sintetizados também chamados de polímeros catiônicos orgânicos, podem ser utilizados como coagulantes primários onde atuam por neutralização de carga. São constituídos de grandes cadeias moleculares, são dotadas de sítios com cargas positivas ou negativas (KAWAMURA, 1991). Existem várias vantagens em se utilizar coagulantes orgânicos, como o fato de ser biodegradável, o que possibilita sua compostagem e disposição final; a quantidade de lodo é reduzida, se comparada com os coagulantes inorgânicos; possui maior facilidade para a desidratação; pode ser utilizado na produção de energia por combustão; podem ser usados como fertilizantes orgânicos de solos, pois não possuem sais de alumínio e ferro e apresentam baixo nível de toxicidade (MANGRICH et al., 2013).

Assim, este trabalho visa a avaliação do potencial de uso do tanino, obtido a partir da casca de laranja, e da mucilagem de chia como coagulante e auxiliar de coagulação, respectivamente, no processo de tratamento do efluente de uma agroindústria, abatedouro e frigorífero de suínos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente utilizado nos ensaios experimentais foi coletado em uma agroindústria, localizada no oeste do Paraná à uma latitude sul 25°17'40" e longitude oeste 54°05'30". Para a caracterização do efluente foram analisados os parâmetros DQO, pH e turbidez, conforme as metodologias descritas no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2012).

As soluções coagulantes de interesse foram preparadas utilizando-se a casca da laranja e a semente da chia, ambas obtidas no comércio local. O componente de interesse na avaliação da capacidade de coagulação foi o tanino, obtido da casca da laranja. Como auxiliar de coagulação avaliou-se a mucilagem liberada pela semente de chia.

As cascas de laranja foram lavadas e posteriormente foram secas em estufa a 60°C por 24 horas. Após a secagem as cascas foram trituradas em um moinho de facas. Para a extração foi utilizada a água como solvente,

na proporção de 10g de casca seca e moída para 500 mL de água. O processo de extração foi conduzido em um balão de vidro aquecido, conectado a um condensador de refluxo por aproximadamente 1 hora a 100°C. A solução coagulante foi filtrada e armazenada em refrigerador a 5°C.

Para a extração da mucilagem de chia foram utilizadas 10g de sementes em 500 mL de solução NaOH 0,001 mol. L⁻¹. A solução foi mantida sob agitação magnética por um período de uma hora e posteriormente ficou em repouso por 24 horas em temperatura ambiente. Após o repouso a solução foi filtrada e armazenada em refrigerador. O volume final da solução foi de 150 mL e a concentração de 666.666,67 ppm.

Os ensaios preliminares de coagulação e os ensaios finais de coagulação/floculação e sedimentação foram realizados no equipamento Jar Test, da marca PoliControl, modelo FlocControl III, com 6 jarros de 2 litros cada.

No teste de dosagem mínima utilizou-se como coagulante a solução de tanino extraído da casca da laranja. Foram testados seis valores de concentração: 200, 300, 400, 500, 600 e 700 ppm em béqueres com 500 mL de efluente. As soluções foram submetidas a agitação lenta (30 rpm) no Jar Test, até a visualização da formação dos flocos. A dosagem mínima foi determinada pelo ensaio de menor concentração que apresentou a formação de flocos.

Nos ensaios finais de coagulação/floculação e sedimentação, utilizou-se um volume de 500 mL de efluente no equipamento Jar Test. As condições testadas foram recomendadas pela Sanepar para ensaio padrão em água, ou seja, 100 rpm por 30 segundos para a coagulação, 30 rpm por 15 minutos para a floculação e 30 minutos para sedimentação.

Para a realização dos ensaios foi empregada a metodologia do planejamento experimental e otimização de processos. Primeiramente realizou-se um planejamento fatorial 2², com 4 pontos fatoriais e 3 repetições no ponto central. As variáveis independentes foram a concentração de extrato de laranja (ppm) e concentração de extrato de chia (ppm). As variáveis resposta foram a turbidez final (NTU) e DQO final (mg.L⁻¹).

Posteriormente foi realizado um DCCR, que contou com 4 pontos fatoriais, 3 pontos centrais e 4 pontos axiais, totalizando 11 ensaios. As variáveis independentes foram a concentração extrato de laranja (ppm) e a concentração extrato de chia (ppm). A variável resposta foi a remoção de turbidez (%).

Os resultados dos planejamentos (fatorial e DCCR) foram analisados no software Statística, versão 7.0. Foram realizadas análises de variância (ANOVA) e de superfície de resposta para avaliar a adequação do modelo com base na significância dos coeficientes de regressão, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No teste de dosagem mínima para o coagulante extrato de laranja, verificou-se visualmente que todos os jarros apresentaram flocos, de modo que ainda não havia certeza quanto à dosagem mínima real para coagulação. Assim, foram realizados dois testes adicionais: com 100 ppm e com 40 ppm. No teste com 100 ppm, foi possível visualizar a formação de pequenos flocos, o que não foi visualizado com 40 ppm. Dessa forma, definiu-se a dosagem mínima do coagulante extrato de laranja como 100 ppm.

A determinação da dosagem mínima de coagulante serviu de subsídio para definição das faixas de estudo para testes preliminares. Os valores dos níveis reais e codificados para esse planejamento foram definidos a partir estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Níveis Reais e Codificados das Variáveis Estudadas no Planejamento Fatorial.

Níveis	Concentração extrato de laranja (ppm)	Concentração extrato de chia (ppm)
-1	200	0
0	500	30
1	800	60

Foi realizada a caracterização do efluente bruto, de modo a avaliar posteriormente a eficiência da etapa de coagulação com os coagulantes testados. Na Tabela 2 está apresentada a caracterização do efluente bruto para os testes preliminares e planejamento fatorial, em que os parâmetros utilizados foram pH, Turbidez, Absorbância e DQO. Os valores representam as médias das duplicatas.

Tabela 2: Caracterização do Efluente Bruto.

Parâmetro	Valor
pH	8,645
Turbidez (NTU)	103,5
Absorbância	0,0905
DQO (mgO ₂ /L)	304 mg/L

Na Tabela 3 é apresentada a matriz de ensaios para os testes preliminares, com os respectivos valores das variáveis resposta: Turbidez final e DQO final para cada ensaio. O pH final também foi verificado e está apresentado na Tabela, porém ele não foi considerado como variável resposta, tendo sido medido apenas para verificar se houve mudanças significativas.

Tabela 3: Matriz dos Testes Preliminares e Variáveis Resposta.

	Concentração extrato de laranja (ppm)	Concentração extrato de chia (ppm)	Turbidez final (NTU)	DQO final (mg.L ⁻¹)	pH
1	-1	-1	74	333,33	8,46
2	-1	-1	74	311,67	8,46
3	0	0	94	515	8,43
4	0	0	85	471,67	8,45
5	1	1	100	520	8,29
6	1	1	103	510	8,37

Observa-se que a eficiência encontrada teve uma remoção máxima de 28,5% para a turbidez.

A partir da análise dos testes preliminares, pode-se perceber que os melhores resultados (menores valores para Turbidez e DQO final) foram obtidos com os níveis inferiores para ambas as variáveis. Porém, os ensaios realizados não permitiam realizar uma análise estatística para comprovar esse resultado, uma vez que o número de graus de liberdade não era suficiente para tanto. Assim, foram feitos mais ensaios, de modo a completar um planejamento fatorial para os experimentos. A variável DQO não apresentou redução significativa em nenhum ensaio, tendo aumentado em relação ao bruto em todos, provavelmente devido à adição de matéria orgânica presente no extrato de coagulante. Assim, a variável resposta adotada para o planejamento fatorial foi apenas a Turbidez final.

Na Tabela 4 está apresentada a matriz de ensaios do planejamento fatorial, unindo os resultados dos testes preliminares com os resultados dos ensaios extras. Para os ensaios que haviam sido realizados nos testes preliminares, os valores apresentados são as médias das duplicatas experimentais. O pH também foi medido e está apresentado, porém não foi considerado como variável resposta.

Tabela 4: Matriz do Planejamento Fatorial e Resultados.

	Concentração extrato de laranja (mg/l)	Concentração extrato de chia (mg/l)	Turbidez final	pH
1	-1	-1	74	8,46
2	1	1	101,5	8,34
3	-1	1	94	8,38
4	1	-1	102	8,42
5	0	0	94	8,43
6	0	0	85	8,45
7	0	0	95	8,46

Como é possível observar, alguns ensaios apresentaram remoção da Turbidez em relação ao efluente bruto, sendo que o menor resultado para a Turbidez (74 NTU) foi obtido para o ensaio em que os valores para as duas variáveis encontram-se no nível inferior.

A Tabela 5 apresenta os efeitos para as variáveis estudadas, que devem ser analisados a fim de conhecer a influência que apresentam na resposta

Tabela 5: Efeitos Para as Variáveis do Planejamento Fatorial.

Fatores	Efeito ^a	Erro Padrão	t (3)	p - valor
Média	92,2143	1,755821	52,51918	0,000015*
Extrato de laranja (ppm)	17,7500	4,645466	3,82093	0,031553*
Extrato de chia (ppm)	9,7500	4,645466	2,09882	0,126707
1 by 2	-10,2500	4,645466	-2,20645	0,114480

^aOs efeitos são apresentados em NTU; * $p \leq 0,05$.

Por meio da análise dos efeitos para as variáveis estudadas, o p-valor para os parâmetros indica que apenas a variável extrato de laranja foi significativa. Ainda, o valor dos efeitos corrobora a análise dos resultados do planejamento, que havia indicado que os melhores resultados de turbidez final deram-se para o ensaio com as variáveis nos valores inferiores da faixa de estudo. O efeito para as duas variáveis foi positivo, indicando que um aumento na concentração dos extratos, para a faixa de estudo, ocasiona um aumento na Turbidez final, o que não é o objetivo.

A partir do planejamento, foi possível obter um modelo linear válido para a Turbidez final do efluente em função da concentração do extrato de laranja adicionado, demonstrado na Equação (1):

$$\text{Turbidez} = 92,214 + 8,875 * \text{CI} \quad \text{equação (1)}$$

Onde CI corresponde à concentração do extrato de laranja. De forma a verificar a validade do modelo, foi efetuada a Análise de Variância (ANOVA), apresentada na Tabela 6.

Tabela 6: Análise de Variância (Intervalo de Confiança de 95%).

Fonte de Variação	SQ ^a	GL ^b	QM ^c	F _{calculado}	p-valor
Regressão	515,188	2	257,594	15,915	0,012463
Resíduos	64,741	4	16,185		
Total	579,929	6			

% variação explicada (R^2) = 88,84% $F_{2; 4; 0,05} = 6,944$; ^a= soma de quadrados; ^b = graus de liberdade; ^c = quadrados médios.

Como é possível observar na ANOVA, o p-valor para a Regressão é menor do que o nível de significância adotado de 5%, indicando a validade do modelo. O valor de F calculado é cerca de 2,3 vezes maior do que o de F tabelado, também indicando que o modelo é válido para a faixa de estudo, embora não com tanta

segurança, uma vez que o recomendado é que F calculado seja mais de 4 vezes maior que o tabelado para que se considere o modelo válido. Porém, o valor de R^2 indica um ajuste razoável para o modelo, explicando mais de 88% dos resultados.

A partir do modelo, foi possível obter uma superfície de resposta para as variáveis, apresentada na Figura 1.

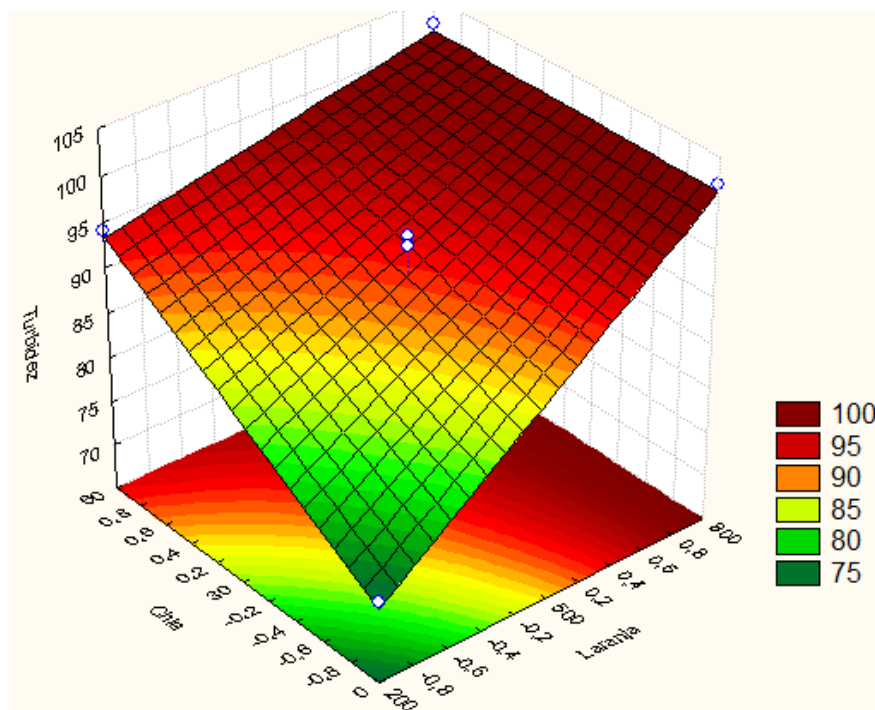


Figura 1: Superfície de Resposta Para Turbidez Final (NTU) em Função das Concentrações Extrato de Laranja e Extrato de Chia.

A Superfície de Resposta, de modo semelhante a Tabela de efeitos, aponta que as menores respostas de Turbidez foram obtidas para os valores inferiores da faixa de estudo para as variáveis, de cerca de -1 a -0,2, em valores codificados, para ambas. Embora a validade desse resultado para a variável concentração da chia seja questionável, visto que esse parâmetro não foi estatisticamente significativo, ele dá uma ideia dos prováveis resultados, bem como um indicativo mais seguro para a variável concentração da laranja.

No geral, para um planejamento fatorial simples, os resultados podem ser considerados bastante razoáveis, tendo-se obtido um modelo cujos valores de p -valor, F calculado e R^2 indicam ser válido para a faixa de estudo, bem como a obtenção de uma indicação de faixa de trabalho para a variável significativa, concentração do extrato de laranja. Assim, os resultados obtidos permitem ajustar as faixas de estudo para a elaboração de um novo planejamento, com a possibilidade de otimização do processo.

Dessa forma, a partir dos resultados obtidos no planejamento fatorial, elaborou-se um novo planejamento 2^2 , na forma de um DCCR, com 4 ensaios fatoriais, 4 ensaios nos pontos axiais e 3 ensaios no ponto central, totalizando 11 ensaios. Apesar de a chia não ter sido estatisticamente significativa na faixa de estudo, optou-se por mantê-la no planejamento do DCCR, uma vez que as faixas de estudo foram deslocadas para baixo. Os níveis reais e codificados para a variável estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Níveis Reais e Codificados das Variáveis Estudadas no Planejamento Fatorial.

Níveis	Concentração extrato de laranja (ppm)	Concentração extrato de chia (ppm)
1,41	50	0
-1	108,15	4,36
0	250	15
1	391,84	25,63
1,41	450	30

Na Tabela 8 está apresentada a Matriz do delineamento experimental para o DCCR e os resultados dos ensaios para a turbidez e para a variável resposta do planejamento Remoção de Turbidez, bem como o pH final, embora este não tenha sido considerado como variável resposta.

Tabela 8: Matriz do DCCR.

Ensaio	Concentração extrato de laranja (mg/l)	Concentração extrato de chia (mg/l)	Turbidez final (NTU)	Remoção de turbidez (%)	Desvio-padrão	pH
1	-1	-1	73,5	28,64	2,12132	8,21
2	1	-1	85,5	16,99	4,949747	8,38
3	-1	1	72	30,09	5,656854	8,44
4	1	1	98	4,85	1,414214	8,46
5	0	0	68,5	33,49	2,12132	8,45
6	0	0	68,5	33,49	4,949747	8,48
7	0	0	92,5	10,19	3,535534	8,46
8	-1,41	0	99,5	3,39	4,949747	8,43
9	1,41	0	100,5	2,43	0,707107	8,45
10	0	-1,41	101,5	1,46	0,707107	8,44
11	0	1,41	95	7,76	4,242641	8,47

No DCCR percebeu-se que houve uma grande variação na taxa de remoção entre os ensaios, de 1,46 a 33,49%, bem como no desvio-padrão das duplicatas, que em alguns casos foi superior a 10%. Com os ensaios do DCCR, alcançou-se uma remoção máxima (33,49%) superior à dos ensaios do planejamento fatorial, nos ensaios dos pontos centrais. Porém, embora a presença de uma remoção na turbidez indique um potencial do extrato da casca de laranja como coagulante, a sua atuação se encontra aquém das capacidades de outros coagulantes orgânicos para efluentes de natureza semelhantes, nas condições deste estudo.

Ao utilizar extrato das sementes de Moringa oleífera para clarificação de um efluente de indústria de ingredientes para alimentação animal, Pozzobon e Kempka (2015) obtiveram uma clarificação máxima de 53,20% para uma concentração de 138mg/L de semente triturada, não distante da faixa utilizada de casca de laranja triturada neste trabalho.

Schatzmann (2009) avaliou a eficiência de vários coagulantes comerciais, entre eles o TANFLOC, à base de tanino, para tratamento de efluente bruto de frigorífico de aves. O efluente possuía Turbidez média de 372,31 NTU, e a remoção de turbidez obtida com uma dosagem de 165 mg/L de do coagulante chegou a 95,7%.

Os resultados obtidos também diferem dos obtidos por Santos et al. (2010) com a utilização do mesmo extrato. Segundo os autores, o procedimento adotado permite obter um extrato com concentração média de 1500 ppm de tanino, e cerca de 20 ppb desse tanino em uma amostra de água permitiu a redução de turbidez até 3uT, um resultado excelente.

Para comparação, a solução obtida possui uma concentração de 20000 ppm da casca de laranja, de modo que o tanino representaria 7,5% da solução. O ensaio de maior remoção do DCCR utilizou uma concentração de extrato de laranja de 250ppm, o que corresponderia a 18,75ppm, cerca de 1000 vezes mais do que a concentração utilizada no estudo. Porém, deve-se ressaltar que a comparação não pode ser levada a rigor, uma vez que, no trabalho citado, a aplicação deu-se em água, e não efluente, e também, que o estudo não cita a turbidez inicial da água que se tratou.

Na Tabela 9, estão apresentados as estimativas dos efeitos para o DCCR.

Tabela 9: Estimativas dos Efeitos Para o DCCR.

Fatores	Efeito ^a	Erro Padrão	t (3)	p - valor
Média	25,6626	8,59993	2,98405	0,030656*
Extrato de laranja (ppm) (L) ^b	-9,5941	10,54855	-0,90952	0,404787
Extrato de laranja (ppm) (Q) ^c	-14,5796	12,58717	-1,15829	0,299059
Extrato de chia (ppm) (L) ^b	-0,4467	10,54855	-0,04235	0,967860
Extrato de chia (ppm) (Q) ^c	-12,8704	12,58717	-1,02250	0,353441
1L by 2L	-6,7961	14,89570	-0,45625	0,667346

^a Os efeitos são apresentados em NTU; ^b Termo linear; ^c Termo Quadrático; * $p \leq 0,05$.

A análise estatística dos resultados do DCCR mostra que apenas o termo correspondente à média foi significativo, com efeito positivo, enquanto todos os outros termos, não significativos, apresentaram efeito negativo na faixa de estudo. Esse resultado indica que, dentro da faixa de estudo, as concentrações dos coagulantes e floculantes utilizados não interferem significativamente na remoção de turbidez, e podem ser adotadas livremente dentro da faixa, ocasionando, de acordo com o efeito da média, uma remoção de cerca de 25,67%.

A Análise de Variância para o modelo, com todos os parâmetros, está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10: Análise de Variância Para a Resposta Remoção de Turbidez (Intervalo de Confiança de 95%).

Fonte de Variação	SQ ^a	GL ^b	QM ^c	F _{calculado}	p-valor
Regressão	641,592	5	128,318	0,578	0,7188
Resíduos	1109,409	5	221,882		
Total	1751,000	10			

% variação explicada (R^2) = 33,64% $F_{5; 5; 0,05} = 5,05$; ^a= soma de quadrados; ^b = graus de liberdade; ^c = quadrados médios.

A Análise de Variância, como pode-se perceber, confirma as inferências da Tabela de Efeitos, de que o modelo não é estatisticamente válido: o p-valor para a regressão ficou acima do nível de significância; o valor de F calculado é inferior ao F tabelado, e o valor de R^2 indica que uma parte muito pequena da variação é explicada pelo modelo, cerca de 33,64%.

Embora as variáveis não tenham se provado estatisticamente significativas, gerou-se uma Superfície de Resposta para a Remoção de Turbidez em função dos parâmetros concentração do extrato de laranja e de chia, para efeito de comparação com os resultados obtidos no planejamento fatorial. A Superfície está apresentada na Figura 2.

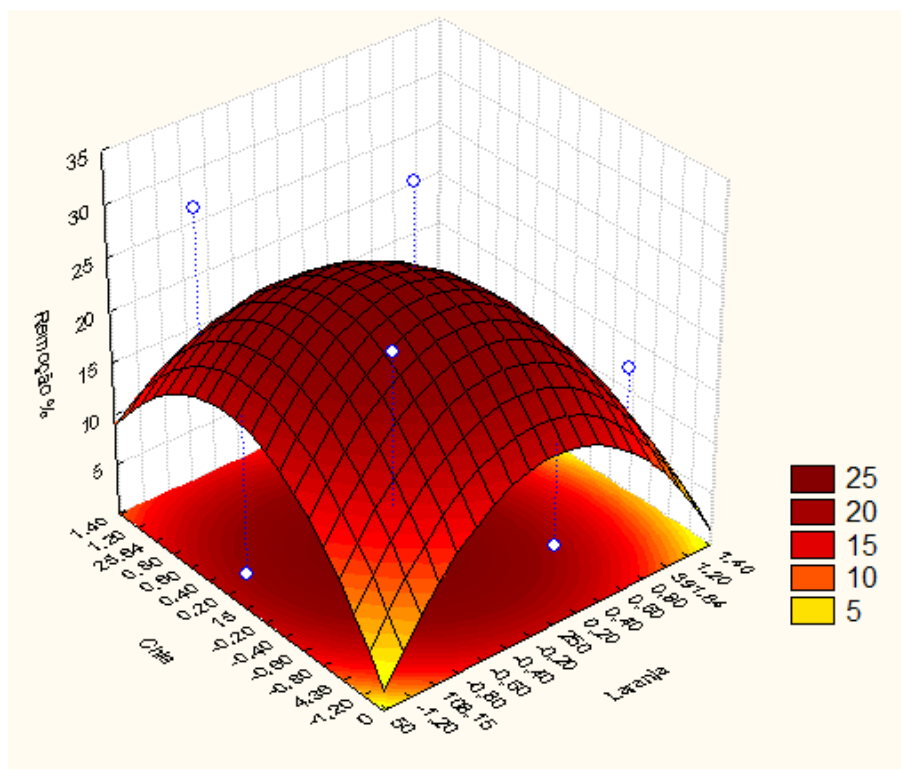


Figura 2: Superfície de Resposta da Remoção de Turbidez em Função das Concentrações dos Extratos de Laranja e Chia.

A Superfície de Resposta indica uma suposta região ótima para a remoção de turbidez na faixa de estudo. Embora a rigor ela não possa ser considerada por não ser estatisticamente válida, a comparação com os dados previamente obtidos pode levar a algumas considerações interessantes.

Percebe-se, por exemplo, que a suposta região ótima indicada pela superfície vai ao encontro dos resultados dos ensaios do planejamento experimental: a região ótima tem seu centro próximo aos pontos centrais da faixa, e os resultados do planejamento indicaram uma remoção máxima justamente nos ensaios dos pontos centrais.

A comparação com os resultados do planejamento fatorial deve levar em conta o deslocamento na faixa de estudo. Com o planejamento fatorial, foi possível obter um modelo estatisticamente válido para a turbidez em função da concentração do extrato de laranja, bem como, uma região ótima para esse parâmetro. A Superfície de Resposta para aquele planejamento indicou uma região ótima nos valores inferiores da faixa de estudo, que correspondem ao valor real de 200 ppm. O ponto central da faixa de estudo do DCCR para a mesma variável, que demonstrou melhor remoção de turbidez nos resultados e na Superfície de Resposta, possui valor real de 250 ppm.

Desse modo, parece razoável inferir que, embora o modelo para o DCCR não tenha se mostrado válido, os resultados desse planejamento vieram a corroborar tanto o efeito positivo da utilização do extrato de casca de laranja como coagulante na remoção da turbidez do efluente de abatedouro, desde que dentro de uma faixa adequada de concentração, quanto a faixa ótima de operação para a variável, que estaria em torno dos 200-250 ppm.

Essa consistência entre os dois planejamentos incita investigação quanto ao motivo de a variável não ter sido estatisticamente significativa no modelo obtido com o DCCR. A razão pode residir em um deslocamento inadequado da faixa de estudo, bem como pode ser fruto de erros experimentais, como uma divergência muito grande nos pontos centrais. Dessa forma, uma repetição dos ensaios seria recomendada, bem como uma validação experimental do modelo linear obtido com o planejamento fatorial.

Para o extrato de chia, conclusões quanto a sua atuação como floculante no processo são mais difíceis de serem obtidas, visto que em nenhum dos planejamentos essa variável foi significativa, e não houve consistência entre as faixas indicadas como “ótimas” entre os planejamentos – no fatorial, a região ótima teria valor real igual a zero, enquanto no DCCR seria próximo de 15 ppm. No geral, os resultados parecem indicar que de fato, essa variável não foi significativa para a remoção da Turbidez.

CONCLUSÕES

Os ensaios realizados com os coagulantes permitiram observar o potencial do extrato da casca da laranja como coagulante para a remoção de turbidez de efluente proveniente de frigorífico. Por outro lado, o extrato da chia não se mostrou estatisticamente significativa em nenhum dos planejamentos, o que leva a questionar sua atuação como floculante para o efluente em questão, em combinação com o coagulante utilizado. Embora o coagulante obtido a partir da laranja não alcance os resultados obtidos com coagulantes diferentes em outros estudos, foi possível obter um modelo linear válido para a turbidez final do efluente em função desse parâmetro, bem como uma região ótima de operação, com remoção de 27% de Turbidez, na região próxima a 200 ppm.

A realização de um DCCR não permitiu encontrar um modelo quadrático válido para o processo, visto que nenhuma das variáveis foi estatisticamente significativa. Isso sugere que, dentro da faixa de estudo, pode-se adotar livremente a concentração do extrato de laranja sem influência significativa na remoção de turbidez, o que pode ser interessante enquanto aplicação em larga escala, devido à flexibilidade de operação. Porém, os resultados dos ensaios do DCCR, bem como a Superfície de Resposta para esse planejamento, indicam uma suposta região ótima na faixa de 250 ppm, com remoção de 33,64%, corroborando os resultados preditos pelo modelo linear. Dessa forma, e uma vez que esse modelo se mostrou válido, indica-se essa região como sendo a ótima para o coagulante.

Essa consistência indica que erros experimentais podem ter sido o motivo da não obtenção de um modelo válido, e assim, sugeriria-se uma repetição dos ensaios desse planejamento, para verificar essa possibilidade. Também sugere-se para trabalhos futuros uma mudança na faixa de estudo para limitar-se às proximidades da região ótima encontrada; a investigação de outras metodologias para a extração do tanino da casca da laranja; bem como, a associação desse coagulante com outros floculantes diferentes da chia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 end., Washington, DC: APHA, 2012.
2. BRIÃO, Vandrê B; TAVARES, Célia R. G. Nota Científica: ultrafiltração de efluente da indústria de laticínios para recuperação de nutrientes: efeito da pressão e da velocidade tangencial. Food Technology. Campinas, v. 15, n. 4, p. 352-362, out./dez. 2012.
3. KAWAMURA, S. Effectiveness of natural polyelectrolytes in water treatment. Journal American Water Works Association, v. 83, n. 10, p. 88-91, 1991.
4. MANGRICH, A. S et al. Química Verde no Tratamento de Águas: Uso de Coagulante Derivado de Tanino de Acácia mearnsii. Revista Virtual de Química. 2013.
5. POZZOBON, Luciane; KEMPKA, Aniela P. Sementes de Moringa Oleífera na clarificação de efluente de indústria de ingredientes para alimentação animal: comparação com o coagulante convencional e estudo das condições operacionais. ENGEVISTA, v. 17, n. 2, p. 196-206, junho 2015.
6. SANTOS, T. Z et al. Estudo da utilização de floculantes alternativos e naturais em tratamento de água. Anais ExpoUT 2010. Toledo. Paraná. 2010
7. SCHOENHALS, Marlise et al. Avaliação da eficiência do processo de flotação aplicado ao tratamento primário de efluentes de abatedouro avícola. 2006.
8. SILVA, Tamires E. M da. Avaliação do uso de coagulantes orgânicos no tratamento de efluentes de galvanoplastia: um estudo de caso. 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química Novembro de 2015. Blucher Chemistry Proceedings, Volume 3, Número 1.