



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

TRATAMENTO DE EFLUENTE DO SETOR METALOMECÂNICO POR PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Fernanda Rosa da Silveira – fernanda.rsilveira@outlook.com

Universidade La Salle, Av. Vitor Barreto 2288 – Canoas – RS

Lucas Pisoni da Silva – pisoni.lucas.s@gmail.com

Universidade La Salle

Joana de Souza Müick – joana.muck@gmail.com

Universidade La Salle

Fernanda Siqueira Souza – fernanda.souza@unilasalle.edu.br

Universidade La Salle

Silvio Roberto Taffarel – silvio.taffarel@unilasalle.edu.br

Universidade La Salle

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade e o potencial de aplicação de processos físico-químicos (coagulação e floculação) no tratamento de efluentes oriundos do setor de usinagem metálicas. Foram testados como coagulantes, o cloreto férrico, aquafloc AST e aquafloc 18 e como floculantes, os aniônicos FXAS6 e AN905; catiônicos, FXCS7 e FXCS6; e o não iônico FXNS2. Os ensaios experimentais mostraram que os melhores resultados foram obtidos com o coagulante cloreto férrico e o floculante FXCS7 alcançando 97% de remoção de DQO, 99,40% de turbidez e 99,10% de cor. Para os estudos com o planejamento experimental foi proposto avaliar o percentual de remoção de DQO, o qual demonstrou uma eficiência satisfatória, com 86% de remoção nas condições de pH 7; 0,74 mg/L de floculante e 0,64 mg/L de coagulante. Nesta melhor condição do planejamento experimental, a cor, turbidez e sólidos totais obtiveram um percentual de remoção de 93,20%; 98,65%; 68,13; e 97,22%, respectivamente. O sistema estudado neste trabalho mostrou uma alternativa eficaz para o tratamento do efluentes oriundos da limpeza de peças dentro na indústria metal mecânica perante os parâmetros avaliados.

Palavras-chave: Efluente Metal mecânico, Coagulação/floculação, Planejamento de experimentos.

Abstract: The aim of this study was to evaluate the possibility and potential application of physicochemical processes (coagulation and flocculation) in the treatment of metallic machining effluents. Ferric chloride, aquafloc AST and aquafloc 18 were preliminarily tested as coagulants. Flocculants anionics (FXAS6 and, AN905), cationics (FXCS7, and FXCS6) and nonionic (FXNS2) were tested. The experimental showed that the best results were obtained with the coagulant ferric chloride and the FXCS7 flocculant, achieved removal efficiencies of 97% for COD, 99.40% for turbidity and 99.10% for color. For the studies with the experimental design, the percentage of COD removal was evaluated, which demonstrated a satisfactory efficiency, with 86% of removal in the conditions of pH 7; 0.74 mg / L of flocculant and 0.64 mg / L of coagulant. In this better condition of the experimental design, we also analyzed the color, turbidity and total solids that obtained a efficiency removal of 93.20%; 98.65%; 68.13; and 97.22%, respectively. The system studied in the

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

present work showed an effective alternative for the treatment of the metalworking industry effluents in the parameters evaluated.

Keywords: *Effluents metallic machining, Coagulation-Flocculation, Experimental design.*

1. INTRODUÇÃO

Águas utilizadas em processos que envolvam a utilização de solventes, óleos, combustíveis, para realizar a limpeza de peças mecânicas, produzem efluentes considerados perigosos para o meio ambiente. Esses efluentes devem ser tratados para posterior descarte ou reuso e inserção do mesmo no processo produtivo. Em âmbito nacional, no caso de descarte ao curso hídrico, por exemplo, a Resolução CONAMA n° 357/2005 define no artigo 34 o padrão de lançamento de 20 mg/L para óleos minerais. Já a nível estadual, no Rio Grande do Sul, a CONSEMA 355/2017 estipula o padrão de ≤ 10 mg/L de óleo mineral presente no efluente. Perante as exigências dos órgãos de fiscalização e licenciamento as indústrias devem atender a legislação vigente e adaptarem seus processos para vir a ser satisfatórios.

Outro parâmetro essencial e extremamente representativo é o da Demanda Bioquímica de Oxigênio, DQO. No estado do Rio Grande do Sul, também de acordo com a CONSEMA 355/2017, o padrão de lançamento é variável, ou seja, é de acordo com a vazão do empreendimento. Por exemplo, efluentes líquidos de fontes poluidoras, exceto efluentes líquidos sanitários, que apresentem uma vazão de lançamento menor que 100 m³/dia devem apresentar uma DQO de 330 mg/L, ou vazões entre $7.000 \leq Q < 10.000$ devem apresentar uma DQO de 180 mg/L, entre outros valores estipulados na resolução.

O processo de lavagens de peças mecânicas utiliza-se de óleo diesel para facilitar a remoção de resíduos, óleo queimado e impurezas indesejadas que estão presentes nas peças metálicas que irão ser reconstituídas ou manufaturadas. O óleo diesel utilizado como solvente é inserido no processo de escovação e, logo após as peças ficarem em repouso, o excesso de óleo diesel é esgotado por gravidade, retornando para o tanque de aplicação. Em seguida, são encaminhadas para o setor de lavagem, onde são submetidas a lavagem via jato industrial de alta pressão. Assim, após essa última etapa o efluente industrial é formado, composto por: água, óleo diesel, óleos e graxas e, entre outros poluentes orgânicos e inorgânicos.

Esse efluente formado é classificado como perigoso devido a sua composição. Contém hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e altos níveis de metais pesados provenientes dos óleos. HPA, tais como o benzo [a] pireno, são bem conhecidos pela sua elevada carcinogenicidade. Metais pesados, tais como o Pb, Zn, Cu, Cr, Ni e Cd, são altamente tóxicos para os organismos (VAZQUEZ-DUHALT, 1989; SOHN, 2011). Os óleos lubrificantes usados ainda guardam hidrocarbonetos, assim, podem vir a ser recuperado, o que representa ganhos econômicos e ambientais (CANCHUMANI, 2013).

Diferentes tipos de tratamentos são voltados para cada classe de poluente, encontrados em um efluente de um processo industrial. O tratamento físico-químico primário, que engloba processos, tais como, coagulação, floculação, precipitação química, flotação e decantação, permitem a redução de alguns parâmetros. (NUNES 2008; BRAILE E CAVALCANTI, 1993; METCALF & EDDY, 2004). Os quais têm por objetivo aglutinar partículas em suspensão (1 a 100 μ m) contidas em águas residuárias mediante a adição de coagulantes ou floculantes, de modo a promover a redução de sólidos em suspensão, carga orgânica e de alguns tipos de poluentes da fase líquida, transferindo-as para a fase sólida (CAVALCANTI, 2009).

Coagulantes inorgânicos e poliméricos tais como os sais de alumínio e de ferro, por razões econômicas e por apresentarem uma maior valência são muito utilizados. Dentre estes sais, o

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) o cloreto férrico (FeCl_3) e o policloreto de alumínio (PAC) são os mais utilizados (ZOUBOULIS E TRASKAS, 2005; DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência dos processos físico-químicos (coagulação e floculação) no tratamento de efluentes oriundos do processo de lavagem de peças mecânicas. Foram investigados três coagulantes no processo de coagulação e cinco floculantes, onde foi definido via ensaios preliminares o melhor coagulante e floculante para serem utilizados e aplicados nos ensaios do planejamento experimental tipo Box-Behnken, visando obter as melhores condições para remoção de DQO do efluente em questão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Efluente

O efluente utilizado neste trabalho foi coletado de uma microempresa do setor de metal mecânica, usinagem, que recondiciona peças da linha automotiva e industrial. A coleta foi efetuada e acondicionada em 3 bombonas plásticas de 5 litros e transportado para o laboratório do Centro de Estudos Ambientais da Universidade La Salle, no município de Nova Santa Rita, onde ficaram em condições ideais de conservação a temperatura de 4 °C para posterior análise e tratamento.

2.2 Reagentes

Nos ensaios de coagulação foram utilizados como coagulantes o Acquafloc AST, acquafloc 18 e o cloreto férrico; floculantes aniônicos (FXAS6 e AN905), Catiônicos (FXCS7 e FXCS6) e não iônico (FXNS2) todos da marca Faxon Química, também foram utilizadas soluções de H_2SO_4 (Synth) e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Neon) para o ajuste de pH do efluente. Todos os reagentes utilizados nas análises possuem grau analítico (P.A.) e as soluções foram preparadas com água deionizada (Milli-Q).

2.3 Equipamentos

Para realização dos ensaios de coagulação e floculação foi utilizado um Jar-Teste (EthiK - Modelo 2018-6). As análises de turbidez foram realizadas em um turbidímetro (Digimed - modelo DM-TU), as medições de pH foram feitas com um peagâmetro (HANNA - modelo HI 8424) e as análises de cor foram analisadas em um colorímetro (Alfakit).

2.4 Procedimento Analítico

As análises do efluente bruto e tratado foram realizadas seguindo a metodologia definida pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

2.5 Procedimento experimental

A amostra do efluente bruto acondicionada nas bombonas passaram por um processo de agitação manual e transferido 500 mL do efluente para os jarros do Jar-test de 1 L. A agitação prévia do sistema foi de 120 rpm para homogeneização. Na sequência foram adicionados os diferentes coagulantes, tais como cloreto férrico, aquafloc AST e aquafloc 18. O sistema foi deixado em agitação de 120 rpm por um período de 3 minutos. Logo foi adicionado hidróxido de cálcio para o ajuste de pH 8. O sistema foi deixado em agitação de 120 rpm por mais 3 minutos. Dando seguimento, foi adicionado em cada jarro os floculantes FXAS6, AN905, FXCS7, FXCS6 e FXNS2. Após a agitação do sistema foi reduzida para 80 rpm por um período de 5 minutos. Em seguida o sistema foi desligado para a decantação do lodo que foi aguardado por um período de 30 minutos. Foram coletadas amostras do sobrenadante para as análises de DQO, turbidez e cor. Este procedimento

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



também foi mantido nos ensaios feitos com as condições estipuladas no planejamento experimental para posterior análise de DQO, turbidez, sólidos totais, óleos e graxas e cor apenas na melhor condição que o planejamento experimental indicou.

2.6 Planejamento de experimento Software (Action 2.9)

O Planejamento Experimental utilizado foi do tipo Box-Behnken, 1960. Este planejamento permite a construção de um modelo polinomial de segunda ordem para caracterizar e/ou otimizar um processo com um menor número de experimentos. São utilizados 3 fatores testados em 3 níveis (baixo, médio e alto). Este modelo inclui pelo menos um nível intermediário (0), estabelecido para cada combinação de fatores. (Portal Action, 2016). O modelo apresenta a seguinte forma:

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_1X_2 + a_5X_2X_3 + a_6X_1X_3 + a_7X_1^2 + a_8X_2^2 + a_9X_3^2 + E \quad (1)$$

onde, $a_0 - a_9$ são os coeficientes de regressão, X_1 a X_3 denotam os fatores, Y é a resposta medida associada com as combinações dos fatores e E representa o erro experimental.

O percentual de remoção de DQO foi tomado como resposta (Y) do sistema. O coagulante (X_1) e floculante (X_2) foram escolhidos com base nos resultados dos estudos preliminares. A

Tabela 1 abaixo demonstra os níveis dos fatores utilizados e a Tabela 2 o Planejamento experimental proposto.

Tabela 1 - Fatores e seus níveis para o desenvolvimento de Box-Behnken

Fatores		Níveis		
pH	X_1	6	8	10
Floculante (mL)	X_2	0,25	0,50	0,75
Coagulante (mL)	X_3	0,2	0,4	0,6

Tabela 2: Planejamento experimental tipo Box-Behnken.

Experimento n.º	Variáveis Codificadas		
	X_1	X_2	X_3
1	-1	-1	0
2	1	-1	0
3	-1	1	0
4	1	1	0
5	-1	0	1
6	1	0	1
7	-1	0	-1
8	1	0	-1
9	0	-1	1
10	0	1	1
11	0	-1	-1
12	0	1	-1
13	0	0	0
14	0	0	0



15	0	0	0
----	---	---	---

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do efluente

O efluente foi caracterizado e após submetido a ensaios preliminares e com a melhores condições adquiridas no planejamento experimental. Os resultados estão sendo apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Resultados da caracterização dos efluentes.

Parâmetros	Efluente Bruto	Após Ensaios Preliminares	Após Planejamento Experimental
Cor	755mg/L	32 mg/L	51 mg/L
Turbidez	169 NTU	0 NTU	2 NTU
Sólidos Totais	2510 mg/L	Não realizado	800 mg/L
DQO	2085 mg/L	179 mg/L	38 mg/L
Óleos e graxas	230 mg/L	Não realizado	0,4 mg/L

Os resultados demonstram que o efluente bruto possui cor de 755,7 mg/L, alta turbidez com 169 NTU, alta carga na concentração de sólidos totais onde se verificou a concentração de 2510 mg/L. Concentração de DQO de 2085 mg/L e óleos e graxas com 230,8 mg/L. Estes resultados mostram que o efluente bruto possui uma alta carga de materiais químicos e físicos, o que atesta o grande potencial poluidor que este tipo de efluente apresenta ao meio ambiente, onde a alta carga de sólidos totais é possivelmente corrosiva e até abrasiva.

3.2 Ensaios Preliminares

O efluente foi submetido a ensaios preliminares de coagulação e floculação para avaliação de escolha do melhor coagulante e floculante para serem aplicados em um planejamento experimental. A Figura 1 demonstra os resultados obtidos nos ensaios de jar-test onde foi testado diferentes coagulantes como o cloreto férrico, Acquafloc AST e Acquafloc 18 para definir o mais eficaz na remoção de DQO, cor e turbidez.

Realização



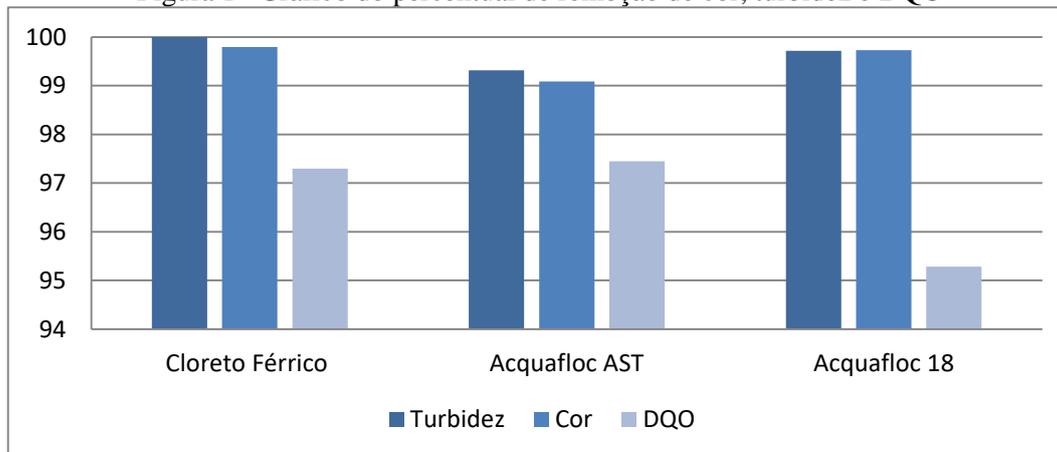
Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375

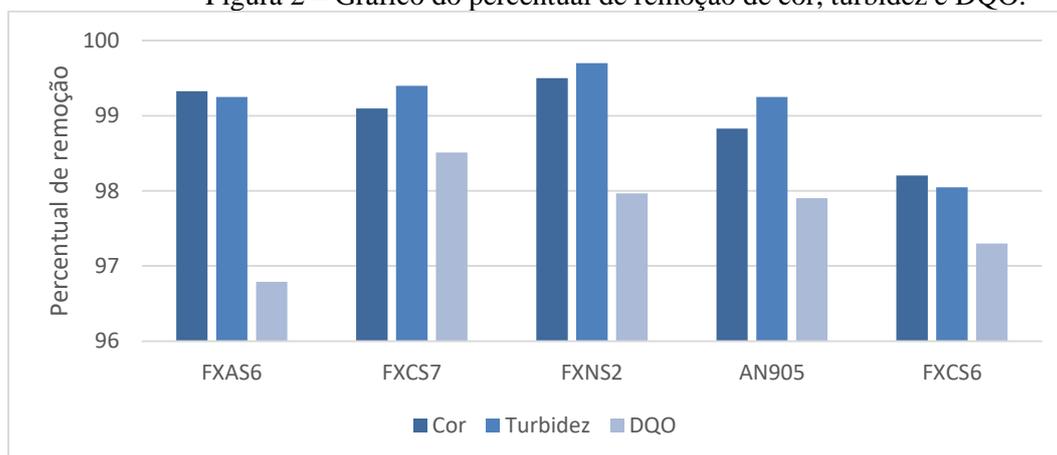
Figura 1– Gráfico do percentual de remoção de cor, turbidez e DQO



Com relação aos parâmetros de turbidez, observa-se que o melhor resultado foi alcançado utilizando o coagulante Cloreto Férrico onde ocorreu a remoção de 100%. Tratando-se do parâmetro de cor o melhor resultado também foi com o coagulante Cloreto Férrico, com 99,80% de remoção. Para o parâmetro de DQO os melhores resultados foram apresentados pelo uso do coagulante Aquafloc18 com percentual de 97,45% de remoção seguido do coagulante Cloreto Férrico com 97,30%. Sendo assim, foi estipulado que o coagulante Cloreto Férrico apresentou melhores resultados o que o fez ser mantido para as próximas etapas do estudo.

Na próxima etapa dos estudos preliminares foram avaliados os floculantes aniônicos (FXAS6 e AN905), os Catiônicos (FXCS7 e FXCS6) e o não iônico (FXNS2), onde se manteve o coagulante Cloreto Férrico em todos os ensaios visto que apresentou os melhores resultados no estudo anterior. A Figura 2 apresenta os resultados obtidos na floculação.

Figura 2 – Gráfico do percentual de remoção de cor, turbidez e DQO.



Observa-se pela Figura 2 que os floculantes FXAS6, FXCS7 e FXNS2 apresentaram remoção acima de 99% para a cor e turbidez. Com relação à eficiência de remoção DQO, o floculante FXCS7 apresentou o melhor resultado, com 98,51 % de remoção. Portanto, o FXCS7 foi escolhido como o floculante para os ensaios do planejamento experimental por apresentar os melhores resultados comparados aos floculantes analisados no presente trabalho.



3.3 Planejamento experimental Software (Action 2.9)

Para os ensaios do planejamento experimental, foram utilizados o coagulante e o floculante que obtiveram os melhores resultados, ou seja, o cloreto férrico e o FXCS7, respectivamente. Tendo em vista a matriz utilizado no planejamento experimental e a interação dos parâmetros de pH (X1), floculante (X2) e coagulante (X3) obteve-se como resposta o percentual de remoção de DQO (Y). A Tabela 4 apresenta os resultados alcançados em cada experimento.

Tabela 4 - Respostas do experimento de Box-Behnken realizado para avaliar o percentual de remoção de DQO.

X ₁	X ₁	X ₂	X ₃	Y
1	-1	-1	0	79,32
2	1	-1	0	75,16
3	-1	1	0	85,86
4	1	1	0	75,46
5	-1	0	-1	32,09
6	1	0	-1	33,57
7	-1	0	1	43,08
8	1	0	1	22,58
9	0	-1	-1	73,38
10	0	1	-1	68,33
11	0	-1	1	61,50
12	0	1	1	57,04
13	0	0	0	63,87
14	0	0	0	54,37
15	0	0	0	57,93

3.3.1 Análise de resultados do planejamento experimental

A Tabela 5 apresenta os resultados do teste de variância (ANOVA) atingido para os experimentos realizados.

Tabela 5 - Tabela ANOVA para o planejamento Box-Behnken.

Fatores	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F	p-valor
pH	1	140,877	140,877	4,724	0,082
Floculante	1	0,894	0,894	0,030	0,869
Coagulante	1	67,123	67,123	2,251	0,194
pH ²	1	155,623	155,623	5,218	0,071
Floculante ²	1	2862,426	2862,426	95,983	0,000
Coagulante ²	1	1461,097	1461,097	48,994	0,001
pH : Floculante	1	9,731	9,731	0,326	0,593
pH : Coagulante	1	120,830	120,830	4,052	0,100
Floculante : Coagulante	1	0,088	0,088	0,003	0,959
Resíduos	5	149,111	29,822		



Pode se observar que a variável Floculante² e Coagulante² apresentam e indicando um efeito significativo ao nível de 95% de confiança, p-valor < 0,05, assim, pode-se afirmar que este fator exerce certa influência na variável resposta de remoção da DQO. Também é possível observar que o pH apresentou um p-valor de 0,08 o qual é muito próximo ao p-valor de 0,05, mas não apresenta significância estatística para este modelo.

3.3.2 Modelagem - Análise dos Coeficientes do Modelo

A Tabela 6 apresenta os efeitos principais e de interação das variáveis independentes, tendo como resposta o percentual de remoção para o modelo polinomial de segunda ordem, considerando as interações entre as variáveis com um limite de confiança de 95%. A tabela 6, que envolve as variáveis pH, floculante e coagulante e suas interações, demonstra que as mesmas foram estatisticamente significativas sobre a variável resposta, percentual de remoção (%).

Tabela 6 - Efeitos estimados do planejamento Box-Behnken.

Efeitos Estimados; R ² = 0,969; Ajustado; R ² = 0,915						
Fatores	Estimativa	Desvio Padrão	Estat.t	P-valor	Limite de confiança	
Intercepto	58,724	3,153	18,626	0,000	50,620	66,829
pH	-4,196	1,931	-2,173	0,082	-9,160	0,767
Floculante	-0,334	1,931	-0,173	0,869	-5,297	4,629
Coagulante	-2,897	1,931	-1,500	0,194	-7,860	2,067
pH ²	-6,004	2,842	-2,112	0,088	-13,309	1,302
Floculante ²	26,230	2,842	9,230	0,000	18,925	33,536
Coagulante ²	-19,893	2,842	-7,000	0,001	-27,198	-12,587
pH : Floculante	-1,560	2,730	-0,571	0,593	-8,579	5,459
pH : Coagulante	-5,496	2,730	-2,013	0,100	-12,515	1,523
Floculante : Coagulante	0,149	2,730	0,054	0,959	-6,870	7,167

Observa-se na tabela 6 que o valor do coeficiente de determinação R² foi de aproximadamente 0,969%, que resulta em um coeficiente de correlação de 0,8904 indicando que um modelo polinomial de segunda ordem tem uma correlação forte e representa bem a relação entre os efeitos e a variável resposta. Entretanto, para se conhecer se o modelo polinomial de segunda ordem proposto possui significância estatística e se é útil para fazer previsão deve-se fazer uma análise de variância (ANOVA). De acordo com a Tabela 6 e partindo-se dos efeitos significativos propõe-se o modelo:

$$\hat{Y} = 58,724 - 4,196 * X_1 - 0,334 * X_2 - 2,897 * X_3 - 6,004 * X_1 * X_2 + 26,230 * X_2 * X_3 - 19,893 * X_1 * X_3 - 1,560 * X_1^2 - 5,496 * X_2^2 + 0,149 * X_3^2 \quad (2)$$

A síntese dos resultados da análise de regressão para todas as variáveis respostas analisadas é mostrada na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados da análise de regressão para pH, floculante e coagulante.

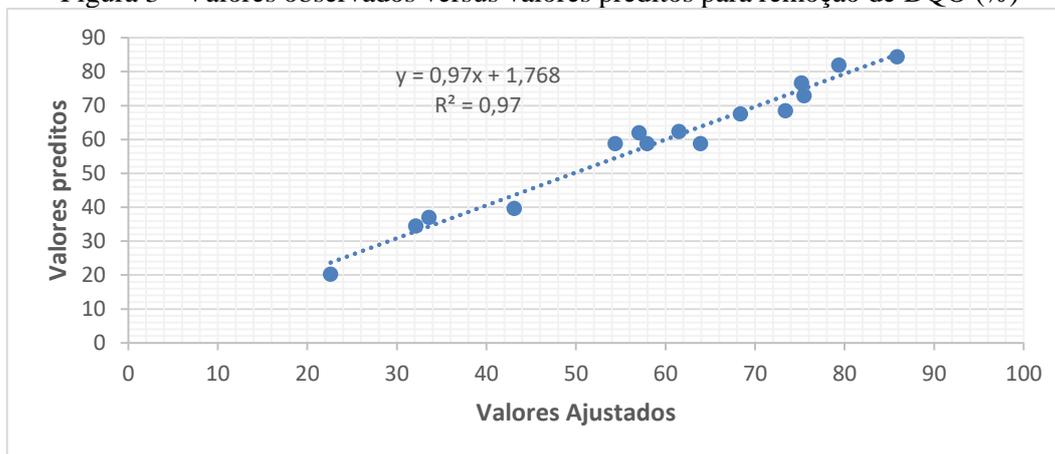
	GL	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Estat. F
Regressão	9	4818,69	535,41	23,22

Resíduos	5	149,11	29,82	1,30
Falta de Ajuste	3	102,98	34,33	1,49
Erro Puro	2	46,13	23,07	
Total	19	5116,91		

A análise da ANOVA mostra que o modelo proposto possui significância estatística, ao nível de 95% de confiança, uma vez que o valor de F (calculado) é 1,19 vezes maior que F (tabelado) = 19,38. Entretanto, a ANOVA mostra que o modelo proposto não é útil para fazer previsões, pelo fato do F calculado dos resíduos e a Falta de Ajuste serem menor que o F tabelado.

O coeficiente de determinação R² foi de aproximadamente 97 %, indicando que o modelo consegue explicar 97% da variação total em torno da média. A avaliação do modelo também pode ser feita através da observação do gráfico dos valores preditos versus os valores observados que são ilustrados na Figura 3. Os valores preditos pelo modelo são representados pela reta, enquanto que os valores observados se representam pelos pontos. Salienta-se que, o modelo é preditivo pois os valores preditos se aproximam dos valores observados.

Figura 3 - Valores observados versus valores preditos para remoção de DQO (%)



3.3.3 Análise via Método de Superfície de Resposta (MSR)

Os gráficos de contorno e de superfície consistem em uma ferramenta qualitativa que nos auxilia na interpretação do comportamento das variáveis utilizadas e dos resultados obtidos. Através dos gráficos de contorno podemos identificar as regiões em que as interações entre as variáveis tornam o processo ótimo, ou seja, as regiões ótimas de operação.

Observando os gráficos de contorno de área e as superfícies de respostas pode-se obter indícios que um modelo polinomial de segunda ordem parece representar bem a relação entre a resposta (% Remoção de DQO) e os fatores estudados.

A Figura 4 e Figura 5 ilustram o percentual de remoção de DQO em função do pH (X1) e Coagulante (X2). Observa-se que o percentual de remoção de DQO é mais efetiva nos extremos da variável coagulante (X2) o qual possui um rendimento em destaque nas extremidades, atingindo cerca de 90 % de remoção da DQO. Já o pH (X1) apresenta apenas um leve destaque quando se encontra em nível baixo (-1).

Figura 4: Contorno (área) de pH (X1) versus floculante (X2). Fonte: Autoria própria, 2017

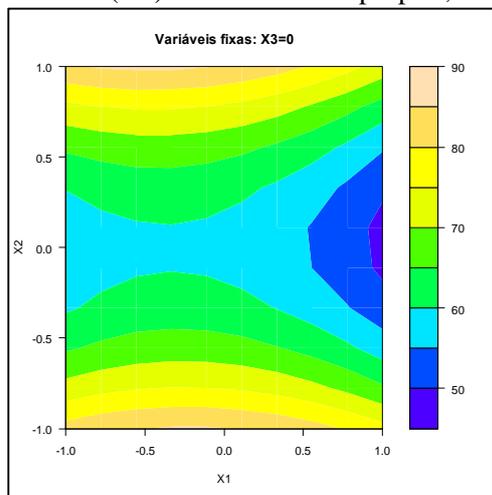
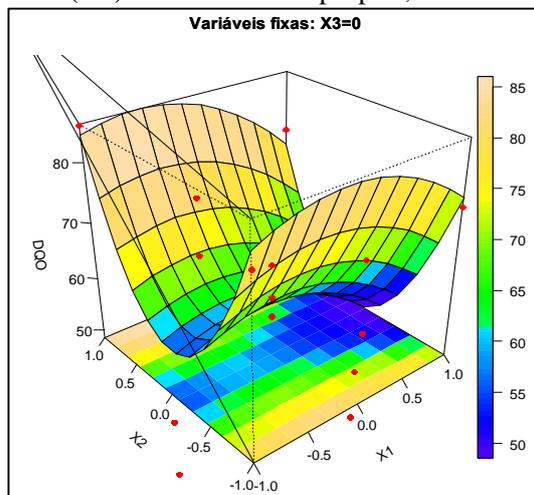


Figura 5: Superfície de pH (X1) versus floculante (X2). Fonte: Autoria própria, 2017.



A Figura 6 e Figura 7 ilustram o percentual de remoção de DQO em função do pH (X1) e coagulante (X3). Observa-se que, neste caso, os fatores conseguem atingir sua maior eficiência quando ambos se encontram em níveis intermediários e uma perda de eficiência quando estiverem trabalhando em níveis altos em qualquer configuração.

Figura 6: Contorno (área) de pH(X1) versus coagulante (X3). Fonte: Autoria própria, 2017.

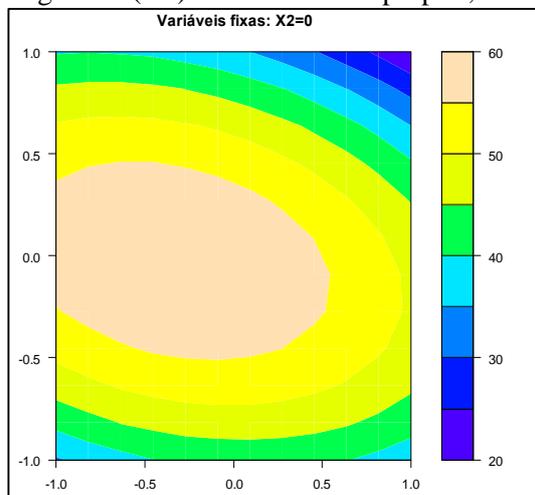
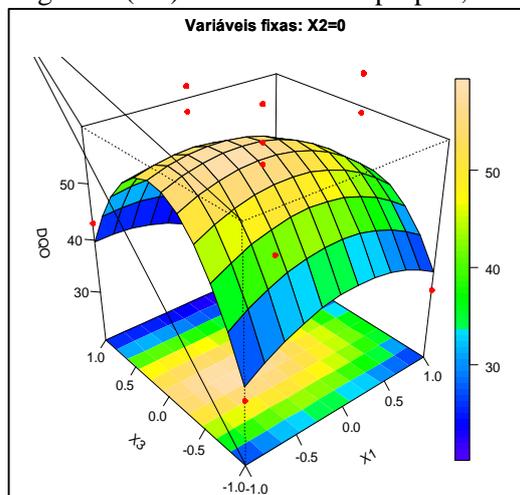


Figura 7: Superfície de pH(X1) versus coagulante(X3). Fonte: Autoria própria, 2017.



Por fim, no que se trata do Método de Superfície de Resposta, nota-se Figura 8 e Figura 9 que os gráficos ilustram a interação e a variação das dos fatores floculante (X2) e coagulante (X3) onde os mesmos são significativos no processo. Obteve-se cerca de 90 % de remoção de DQO quando se trabalha com o floculante (X2) aos extremos, tanto em -1 (nível baixo) quanto em 1 (nível alto). Mas para se obter esse resultado satisfatório o coagulante (X3) deve trabalhar em 0 (nível intermediário).

Figura 8: Contorno (área) de floculante (X2) versus coagulante (X3). Fonte: Autoria própria, 2017.

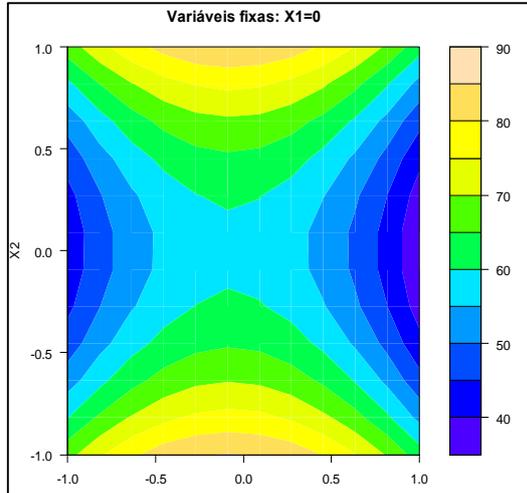
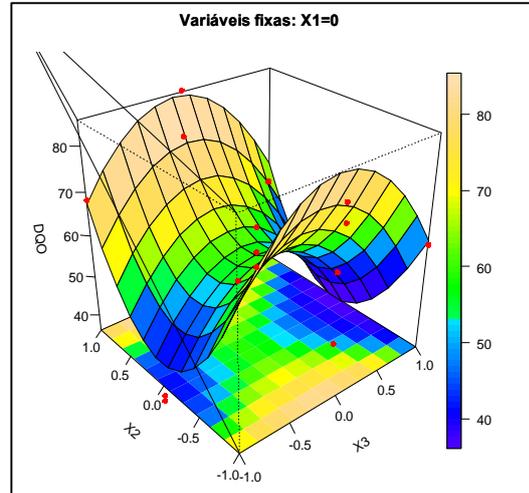


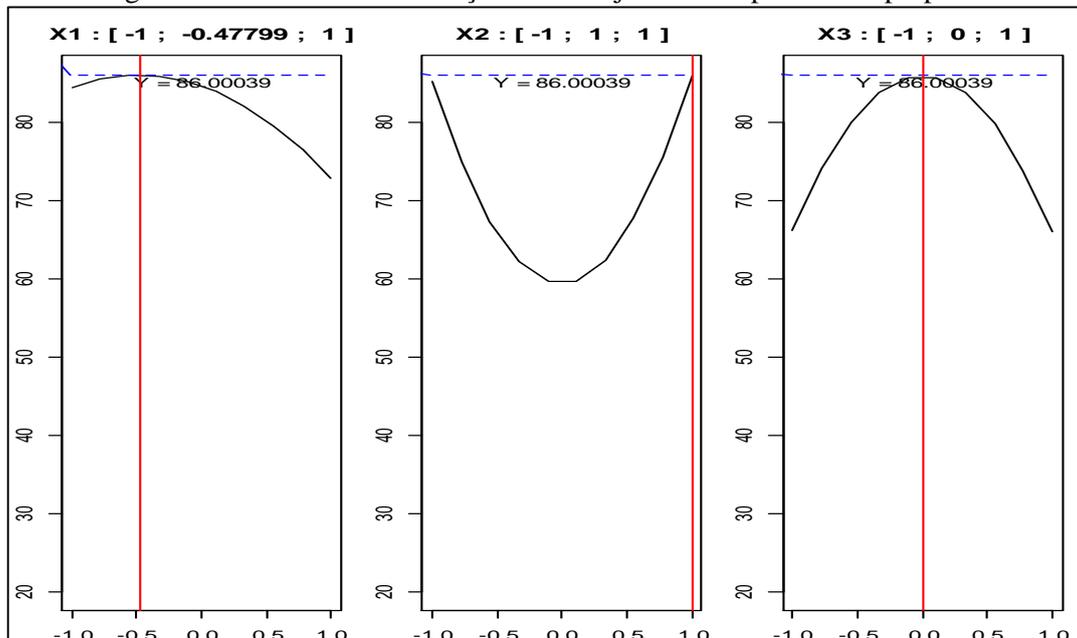
Figura 9: Superfície de Floculante (X2) versus coagulante (X3). Fonte: Autoria própria, 2017.



3.4 Processo de otimização

A Figura 10 apresenta o gráfico que demonstra os resultados do processo de otimização realizado a partir dos experimentos realizados. O processo de otimização foi realizado por meio do Método de Superfície de Resposta (MSR).

Figura 10 – Gráfico de otimização no Planejamento Experimental proposto.



De acordo com a Figura 10 o Método de Superfície de Resposta (MSR), para obter os melhores resultados o parâmetro pH (x1) deve trabalhar em nível baixo ou intermediário, reduzindo a



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

eficiência do processo quando tende ao nível alto. Com relação ao floculante (x2) este deve ser mantido em níveis extremos, tanto em nível baixo quanto em nível alto. Por fim, o coagulante (x3) nos remete que deve ser utilizado a concentração em nível intermediário para que se tenha maior eficiência no processo.

4. CONCLUSÃO

Os ensaios preliminares definiram o coagulante cloreto férrico e floculante FXCS7 como os produtos que obtiveram as melhores eficiências de remoção quanto aos parâmetros de DQO, sólidos, óleos e graxas, cor e turbidez. Os ensaios com base no planejamento de experimentos alcançaram a remoção da DQO com cerca de 86 %.

A seguir algumas considerações relevantes para conclusão deste trabalho:

- De acordo com a tabela ANOVA, a variável Floculante² e Coagulante² apresentam e indicam um efeito significativo ao nível de 95% de confiança, assim pode-se afirmar que estes fatores exercem influência na variável resposta;
- O experimento n° 3 do planejamento experimental apresentou maior eficiência na remoção da DQO, cerca de 86 %, onde o pH estava em nível baixo, o floculante em nível alto e o coagulante em nível intermediário;
- Para a otimização do processo, o parâmetro pH (x1) deve trabalhar em nível baixo ou intermediário, onde o mesmo reduz sua eficiência na medida em que se aproxima para o nível alto. O floculante (x2) deve ser mantido em níveis extremos e por fim, o coagulante (x3) deve ser utilizado em nível intermediário.

5. REFERENCIAS

BOX G., BEHNKEN DW. Some new three level designs for the study of quantitative variable. *Technometrics* 2: 455-475.

BRAILE, P. M., CAVALCANTI, J. E. W. A. 1993. Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais, 2ª edição. CETESB, São Paulo. 1993.

CONAMA n° 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.

CANCHUMANI, G. A. L. Óleos lubrificantes usados: um estudo de caso de avaliação de ciclo de vida do sistema de rerrefino no Brasil. 2013. 143 f. Tese de Doutorado. (Programa de Pós-graduação em Planejamento).

CAVALCANTI, J.E.W; Manual de Tratamento de Efluentes Industriais. Brasil, 2009.

CONSEMA n° 355. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Publicado em Diário Oficial do Estado, 17 de janeiro de 2017. N° 12. Ano LXXV. 2017.

DI., BERNARDO, L.; DANTAS, A.. Métodos e técnicas de tratamento de água, vol. 1, 2ª edição, ed. Rima, São Carlos, SP, 2005.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO
INTERNACIONAL
DE QUALIDADE
AMBIENTAL

02 A 04 DE
OUTUBRO
PORTO ALEGRE-RS
TEATRO DA PUCRS



TEMA
meio ambiente,
política & economia

METCALF & EDDY. 2004. Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4ª ed., ed. Mc Graw Hill.

NUNES, José Alves. Tratamento Físico-Químico de Efluentes Industriais. Aracaju: Editorial J Andrade, 2004.

SOHN, H. Gerenciamento de Óleos Lubrificantes Usados ou Contaminados. APROMAC. São Paulo, GMP/SENAI, 2011.

VAZQUEZ-DUHALT, R. Environmental impact of used motor oil. Sci. Total Environ. v. 79, n. 1, p. 1–23, 1989.

ZOUBOULIS, A., TRASKAS, G. Comparable evaluation of various commercially available aluminium-based coagulants for the treatment of surface water and for the post-treatment of urban wastewater. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 80, 1136 – 1147. 2005.

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br
abes-rs@abes-rs.org.br
(51) 3212.1375