

## **II-238 – ESTUDO DA REMOÇÃO DE CORANTE AZO EM MEIO AQUOSO VIA OXIDAÇÃO QUÍMICA COM EFLUENTE LIQUÍDO DA INDÚSTRIA DE CLORO**

**Dário de Sena Ramos<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química (PPGEQ/DEQ) da UFPE. Engenheiro Químico Sr. da companhia LONZA S/A.

**Joelma Morais Ferreira**

Engenhara Química pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Mestre em Engenharia Química pela UFPB e Doutora em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Pós Doutoranda na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), bolsista do Programa Nacional de Pós Doutorado (CAPES) e Co-Orientadora do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química da UFPE.

**Patrícia Crispim Ferreira**

Aluna de IC do Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente/DEQ e discente do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

**Maria do Carmo Lourenço da Silva**

Possui graduação Química Industrial pela UFPE (2001), mestrado em Engenharia Química pela UFPE (2004) e doutorado em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (2008). Atualmente é Professora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de Tratamento de Águas e Efluentes com ênfase em: monitoramento da qualidade de águas, fracionamento da poluição, modelagem e simulação de sistemas de tratamento de lodos ativados.

**Maurício Alves da Motta Sobrinho**

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco, Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande e Doutor em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine. Professor adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco e dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Química e em Engenharia Civil da UFPE. Pesquisador 2 do CNPq desde 2004.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA) - Departamento de Engenharia Química - CTG - Universidade Federal de Pernambuco - Cidade Universitária – 50740-521 - Recife - Pernambuco – Brasil - Tel.: (81) 2126-7268 – Fax: (81) 2126-7278 - e-mail: [dario.amos@lonza.com.br](mailto:dario.amos@lonza.com.br)

### **RESUMO**

Este estudo avaliou a eficiência do processo oxidativo via hipoclorito de cálcio em solução para redução de cor de uma solução aquosa preparada em laboratório a partir do corante dispersivo Foron azul S-RLB. Um estudo preliminar determinou uma correlação de 0,0028 ml do oxidante ( 2,4% ou 4,8%) / ml da solução corante. No planejamento fatorial fixaram-se valores de pH (4; 7,5; 11), Agitação-A (50; 150; 250 rpm) e Concentração-C (1,5; 8,25; 15 mg.L<sup>-1</sup>). Analisando a oxidação da solução aquosa do corante sintético, os resultados apontaram as condições otimizadas para o oxidante com concentração de 2,4% (pH = 4, A = 250 rpm, C = 1,5 mg.L<sup>-1</sup>) mostrando uma eficiência de 96,29% na remoção da cor. Para o oxidante com a concentração de 4,8% (pH = 11, A = 250 rpm, C = 1,5 mg.L<sup>-1</sup>) mostrando uma eficiência de 95,52% na remoção da cor.

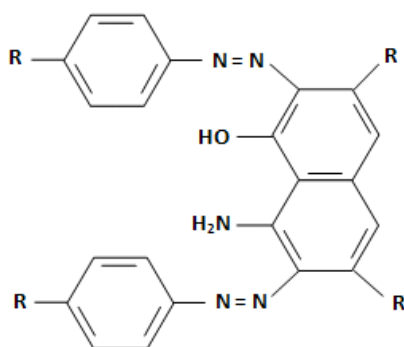
**PALAVRAS-CHAVE:** Processos oxidativos, Hipoclorito de Cálcio, Azocorantes, Redução de Cor.

### **INTRODUÇÃO**

As indústrias têxteis e as lavanderias têm a água como um de seus principais insumos, sendo utilizada em grandes volumes. Estima-se que, para produzir 1 Kg de tecido, sejam necessários 80 L de água. Pesquisa da ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção apontou alta de consumo de água de 16,5% ao ano, em média, entre 2006 e 2010. Segundo a entidade existem hoje no país 23 empresas de fibras, 4.225 indústrias têxteis e 26.176 confecções. Já o último levantamento da ANEL – Associação Nacional das Empresas da Lavanderia, de 2009, mostrou faturamento anual de mais de R\$ 2,5 bilhões e previsão de 25% de crescimento para os cinco anos seguintes. Como não é possível eliminar o uso da água na cadeia produtiva, muitas empresas estão investindo em estações de tratamento de efluente com a finalidade de reuso da água.

A indústria têxtil caracteriza-se pela diversidade de processos utilizados e geração de grande volume de efluentes com elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos. Desta forma, diversos problemas envolvem o estágio de tratamento desses efluentes, especialmente o baixo nível de eficiência de remoção de cor (HASSEMER & SENS, 2002). Os efluentes têxteis apresentam composição química variada, baixa degradabilidade por processos biológicos, elevada demanda química de oxigênio (DQO), além da presença de compostos recalcitrantes que podem estar associados à toxicidade crônica e aguda (ALMEIDA et al, 2004).

A molécula do corante pode ser dividida em duas partes principais, o grupo cromóforo e a estrutura responsável pela fixação à fibra. Dentre essas substâncias, os azocorantes constituem a classe mais importante que se caracterizam por apresentarem um ou mais grupamentos  $-N=N-$  ligados a sistemas aromáticos. A versatilidade dessa classe se deve à facilidade com que os compostos azo podem ser sintetizados e ao fato de possuírem boas características de fixação e custo acessível. Na Figura 1 é apresentado um exemplo de uma estrutura química característica de um grupo cromóforo de um corante azo ou azocorante.



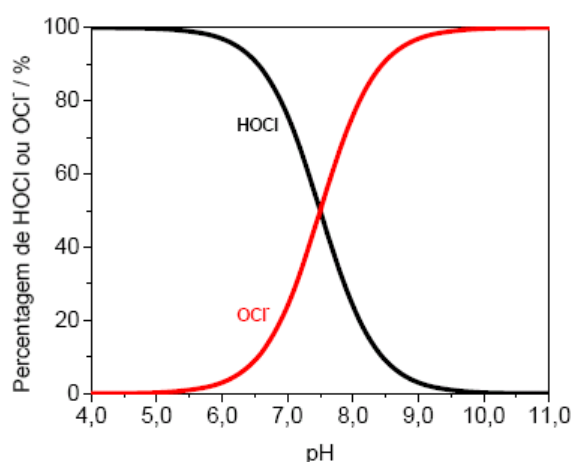
**Figura 1:** Exemplo de uma estrutura química de um grupo cromóforo de um azocorante.  
Fonte: KUNZ et al. (2002).

O ácido hipocloroso é o mais eficiente de todas as frações residuais do cloro. Esta fração é oficialmente conhecida na indústria como cloro disponível. A eficiência germicida do HOCl é devida a grande facilidade com o qual ele pode penetrar na parede celular. (WHITE, 1972).

O ácido hipocloroso é um ácido fraco, cuja constante de dissociação ( $pK_a$ ), a  $30^\circ\text{C}$ , é  $3,18 \times 10^{-8}$  e que em solução aquosa se dissocia para formar o íon hidrogênio e o íon hipoclorito, conforme mostrado na equação (1), logo os compostos clorados são mais efetivos em valores de pH baixos quando a presença de ácido hipocloroso é dominante (MACEDO, 2000).



Conforme demonstrado na Figura 2, em valores de pH abaixo de 5, a espécie predominante de cloro livre é o HOCl (~99%), e para valores de pH acima de 10 a espécie predominante é o  $\text{OCl}^-$  (~99%). O HOCl é melhor desinfetante do que o  $\text{OCl}^-$  ou monocloramias. Quando o HOCl é utilizado ele inativa 99% de E.Coli, sendo 70 vezes melhor do que o  $\text{OCl}^-$  e 300 vezes melhor que as cloroaminas (GOMES, 2009).



**Figura 2:** Distribuição das espécies de cloro livre (HOCl e OCl<sup>-</sup>) em função do pH da solução.  
Fonte. GOMES, 2009

As principais reações do cloro e seus derivados em meio aquoso podem ser verificadas através das equações 2, 3 e 4. Nota-se que apenas o hipoclorito de cálcio forma duas moléculas do ácido hipocloroso (HOCl), o que o torna um potente e atrativo oxidante frente ao demais.



Conforme a Norma Brasileira NBR 11887 (ABNT, 2003), o hipoclorito de cálcio é um sal inorgânico obtido através da cloração de uma solução de cal hidratada, com alto poder oxidante, que possui a seguinte fórmula química: Ca(OCl)<sub>2</sub>.

Comercialmente o hipoclorito de cálcio é vendido na forma de grãos sólidos de coloração brancos na qual se obtém soluções aquosas quando desejadas. Diferentemente da proposta desta pesquisa no qual a solução oxidante, não foi preparada em laboratório, essa por sua vez é oriunda do próprio processo de fabricação do sal. Sua utilização em escala industrial e para tratamento de efluentes reias ainda não foi totalmente, ou nunca, explorada.

Explorar este potencial é um dos principais objetivos desta pesquisa, através da avaliação da eficiência da remoção de um azocorante de uma solução aquosa pela oxidação química com efluente líquido da indústria de cloro, o qual possui em sua composição o hipoclorito de cálcio. Buscou-se otimizar o processo de degradação da solução de corante pelo oxidante utilizando planejamento fatorial.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### MATERIAIS

**Agente Oxidante** – Foi utilizada uma solução de Ca(OCl)<sub>2</sub> proveniente de uma etapa de filtração do processo de fabricação do sal inorgânico de uma planta química localizada em Igarassu/PE. Antes da realização dos experimentos foi determinada a concentração de cloro ativo ou residual a partir da titulação iodométrica (ABNT, 2005). Visando conhecer a estabilidade do oxidante testado, devido à escassez de dados na literatura que se detém sobre o hipoclorito de sódio, foi executado ensaio de decaimento do cloro ativo através do monitoramento por análise. Para isso, foram armazenadas duas amostras de 1,0 L da solução a 5% de hipoclorito de cálcio, acondicionada em frascos âmbar, em um armário protegido da ação da luz e com temperatura controlada de 25°C. Realizaram-se as análises do cloro disponível nas duas amostras durante alguns dias obtendo desta forma um perfil de decaimento médio do cloro disponível.

**Corante Azo** – Foi utilizado o Foron Azul S-RLB cedido pela Clariant. O corante foi dissolvido em água destilada (Figura 3), sendo obtida uma solução estoque de concentração igual a  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ . A partir dessa solução foram preparadas as demais diluições para construção da curva de calibração. A partir da solução aquosa de  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ , realizou-se uma diluição para preparação de uma solução com concentração de  $10 \text{ mg/L}$  onde realizou-se o espectro de varredura da solução do corante utilizando um espectrofotômetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Modelo: Genesys 10-S). De posse do espectro, determinou-se o pico de absorbância máxima do comprimento de onda a ser trabalhado, que para o corante estudado considerou-se o comprimento de onda igual a  $545 \text{ nm}$ .



**Figura 3:** Soluções aquosas do corante Foron: a)  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  e b)  $100 \text{ mg.L}^{-1}$

## MÉTODOS

**Ensaio de oxidação** - Utilizou-se uma mesa agitadora (Quimis modelo: 6225M), objetivando a homogeneização da mistura entre o oxidante e a solução corante, para posteriores análises no espectrofotômetro de UV-Vis. Os erlenmeyers foram envolvidos com papel alumínio para evitar a incidência da radiação UV sobre a solução a ser oxidada. Estudos de bancadas demonstraram que a correlação  $0,0028 \text{ mL}$  do oxidante (2,4% ou 4,8%) para cada  $\text{mL}$  da solução corante deveriam ser utilizados nos experimentos.

**Determinação da eficiência na remoção de cor da solução corante Foron Azul S-RLB** - Foi realizada uma varredura UV-Visível do espectro do corante, tomando o pico de absorção máxima como referência (valor inicial) e a partir dos valores deste mesmo pico após os tratamentos é calculada a eficiência a partir da Equação (5).

$$e = \frac{(C_{E0} - C_E)}{C_{E0}} \times 100 \quad \text{Equação (5)}$$

Onde  $e$  é a eficiência % do processo,  $C_{E0}$  é concentração inicial da solução de corante em  $\text{mg.L}^{-1}$  e  $C_E$  em  $\text{mg.L}^{-1}$  é concentração final da solução.

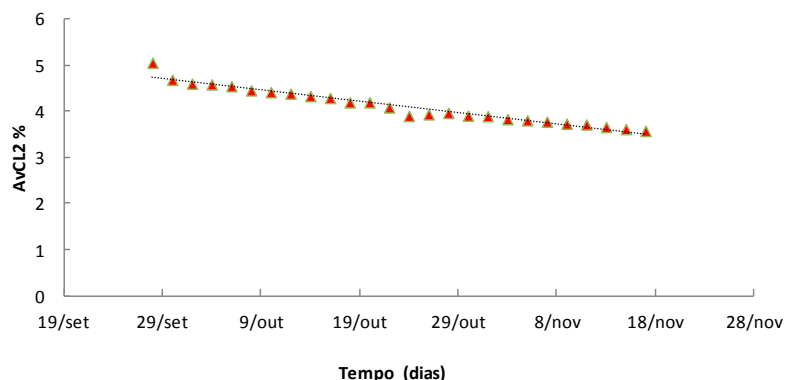
**Planejamento Fatorial  $2^3$**  – Foi realizado um planejamento fatorial para otimizar as variáveis do processo de oxidação, já que se deve considerar que algumas variáveis podem influenciar na eficiência da remoção da cor, como: pH inicial, agitação (A) e concentração (C) inicial da amostra. Realizou-se o planejamento experimental utilizando o oxidante com concentrações de 2,4% e 4,8%. Os experimentos foram realizados em duplicata para todos os níveis estudados e em duplicata no ponto central. Na Tabela 1 estão apresentados os níveis e variáveis do planejamento realizado.

**Tabela 1:** Variáveis e níveis estudados no planejamento  $2^3$ .

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
pH inicial - pH	4	7,5	11
Agitação (rpm) - A	50	150	250
Concentração do corante (mg/L) - C	1,5	8,25	15

## RESULTADOS E DISCURSÕES:

**Ensaio de Estabilidade da solução oxidante contendo  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$**  - Através deste ensaio conclui-se que a perda média do cloro ativo ( $\text{AvCl}_2$ ) da solução de hipoclorito de cálcio de 5,0% foi de 0,030% por dia, sob condições de armazenagem e temperatura controladas, conforme observado na Figura 4. Esta perda percentual de ativo da solução oxidante pode variar em função do pH da solução, temperatura, condições de armazenamento e concentração da solução.



**Figura 4:** Decaimento da concentração (%) de cloro ativo da solução oxidante de Hipoclorito de Cálcio.

**Planejamento Fatorial** - Utilizou-se a metodologia do planejamento experimental fatorial, conseguindo um estudo mais detalhado das variáveis independentes e a sua significância no processo, realizando um número reduzido de experimentos e de forma organizada (BARROS NETO *et al.*, 2007)

### Resultados do planejamento experimental $2^3$ para o oxidante com 2,4%:

Através deste ensaio, foi possível avaliar melhor o efeito da oxidação da solução corante preparada em laboratório via Hipoclorito de Cálcio.

A Tabela 2 apresenta a matriz de planejamento  $2^3$  com a média dos resultados obtidos da variável resposta  $e$  (%) em cada combinação de níveis para as variáveis de entrada, referente aos ensaios utilizando a solução de  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  a 2,4%.

**Tabela 2:** Matriz de Planejamento para um fatorial  $2^3$ ,  $C_{\text{ox}} = 2,4\%$ :

Ensaio	Rotação (rpm)	pH	C(mg.L <sup>-1</sup> )	$e$ (%)
01	+	+	+	50,96
02	+	-	+	69,09
03	+	+	-	92,57
04	+	-	-	96,29
05	-	+	+	24,42
06	-	-	+	53,70
07	-	+	-	48,81
08	-	-	-	86,63
09	0	0	0	68,52
10	0	0	0	68,38

A Tabela 3 abaixo mostra a avaliação dos ensaios pela metodologia da variância (ANOVA), considerando as repetições dos experimentos, a qual indica que o modelo é estatisticamente significativo, de acordo com Barros Neto *et al* (2007), pois ao serem comparados os valores dos ensaios e o tabelado obtém um razão de 24,67 para regressão e quando essa razão é maior que a unidade, o modelo é dito estatisticamente significativo. O

coeficiente de correlação múltipla do ajuste do modelo ( $R^2$ ) que foi igual a 0,98 e sendo este mais próximo da unidade, mais ajustado são os dados experimentais do modelo. A ANOVA também apresenta os valores das variâncias e sabendo que quando os valores das variâncias explicáveis simples e máximas estão próximos de 100% menos erros estarão sendo adicionado ao modelo, devido a possíveis erros experimentais e à falta de ajuste.

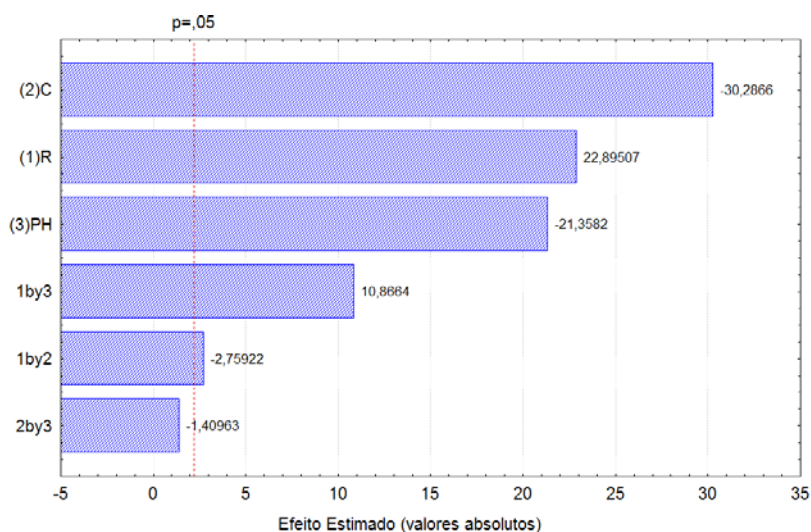
**Tabela 3:** Avaliação Estatística do Planejamento experimental para  $C_{ox} = 2,4\%$ .

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Números de Graus de Liberdade	Média Quadrática
Regressão	8780,08	6	1463,3467
Resíduos	210,827	11	19,1661
Falta de Ajuste	163,14	2	81,5685
Erro Puro	47,69000	11	4,3355
Total	8990,91	19	
$F_{\text{calculado}} \text{ REG}$	<b>76,35</b>		
$F_{\text{tabelado}} \text{ REG}$	<b>3,0946</b>		
$F_{\text{calculado}} \cdot F_{\text{tabelado}}^{-1}$	<b>24,67</b>		
%Mx. Explicada	97,66		
%Mx. Explicável	99,47		
$R^2$	<b>0,98</b>		

O modelo estatístico empírico obtido pela regressão dos dados experimentais com os parâmetros que apresentaram efeito estatisticamente significativo esta apresentado pela equação (6), o que comprova a influência positiva da agitação sobre a eficiência da remoção da cor, assim como as interações agitação e pH. As interações agitação e concentração apresentam influência negativa, tendo também a concentração e pH parcelas negativas na equação.

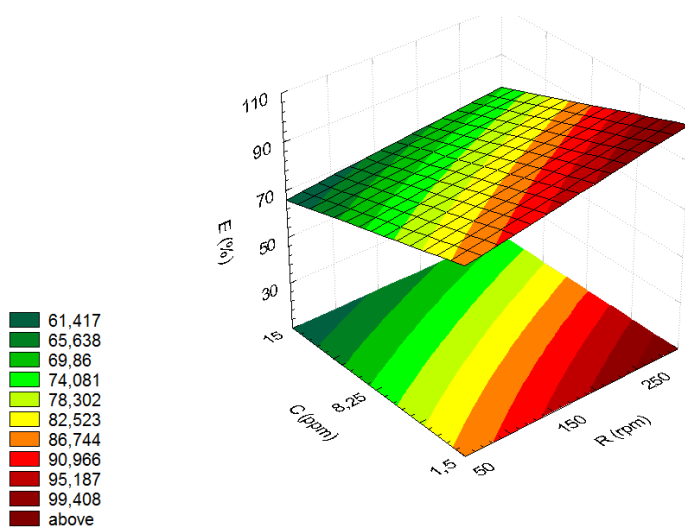
$$E = 65,93 + 11,91 \text{ Rot} - 15,76 \text{ Conc} - 11,12 \text{ pH} - 1,43 \text{ Rot Conc} + 5,65 \text{ Rot pH} \quad \text{Equação (6)}$$

Com os dados obtidos pelo planejamento foi possível comprovar através do gráfico de Pareto (Figura 5) que a interação entre as variáveis concentração e pH não apresentam efeito significativo. A maior influência estatística observada no modelo foi do efeito individual das variáveis concentração, agitação e pH.



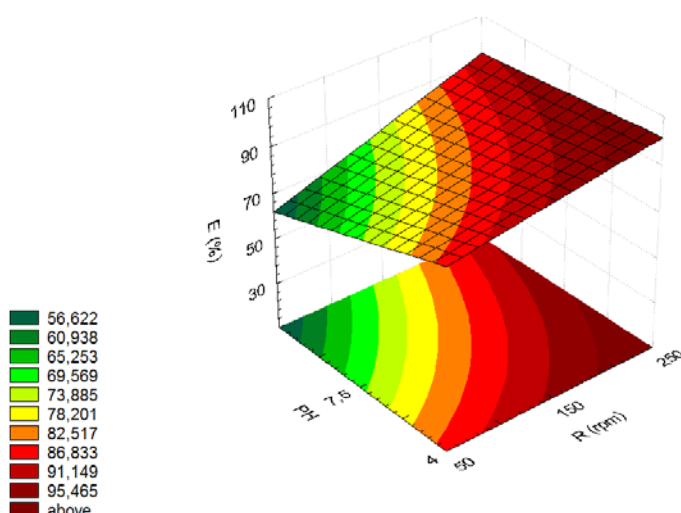
**Figura 5:** Gráfico de Pareto referente ao Planejamento experimental,  $C_{ox} = 2,4\%$ .

As Figuras 6 e 7 representam as superfícies de respostas obtidas com o auxílio do software Statistic 5.0 através da utilização dos dados experimentais. Na superfície da Figura 6 observa-se que as melhores regiões de eficiências estão localizadas nos pontos de baixa concentração da solução corante e maior agitação. Na superfície da Figura 7 observa-se que as melhores eficiências estão localizadas nas regiões de pH baixo e maior agitação.



**Figura 6:** Superfície de resposta para remoção da coloração com  $C_{ox} = 2,4\%$ .





**Figura 7:** Superfície de resposta para remoção da coloração com  $C_{ox} = 2,4\%$ .

#### Resultados do planejamento experimental $2^3$ para o oxidante com 4,8%:

A Tabela 4 apresenta a matriz de planejamento  $2^3$  com a média dos resultados obtidos da variável resposta ( $e$ ) em cada combinação de níveis para as variáveis de entrada, referente aos ensaios utilizando solução de  $Ca(OCl)_2$  a 4,8%.

**Tabela 4:** Matriz de Planejamento para um fatorial  $2^3$ ,  $C_{ox} = 4,8\%$

Ensaio	Rotação (rpm)	pH	C(mg.L <sup>-1</sup> )	$e$ (%)
01	+	+	+	68,64
02	+	-	+	70,94
03	+	+	-	95,52
04	+	-	-	82,91
05	-	+	+	33,94
06	-	-	+	56,75
07	-	+	-	60,61
08	-	-	-	85,88
09	0	0	0	70,14
10	0	0	0	70,00
11	0	0	0	70,06

A Tabela 5 abaixo mostra a avaliação dos ensaios pela metodologia da variancia (ANOVA), considerando as repetições dos experimentos, a qual indica que o modelo é estatisticamente significativo, conforme Barros Neto *et al* (2007), pois ao serem comparados os valores dos ensaios e o tabelado obtém um razão de 26,48 para regressão e quando essa razão é maior que a unidade, o modelo é dito estatisticamente significativo. O coeficiente de correlação múltipla do ajuste do modelo ( $R^2$ ) que foi igual a 0,98 e sendo este mais próximo da unidade, mais ajustado são os dados experimentais do modelo. A ANOVA também apresenta os valores das variâncias e sabendo que quando os valores das variâncias explicáveis simples e máximas estão próximos de 100% menos erros estarão sendo adicionado ao modelo, devido possíveis erros experimentais e à falta de ajuste.



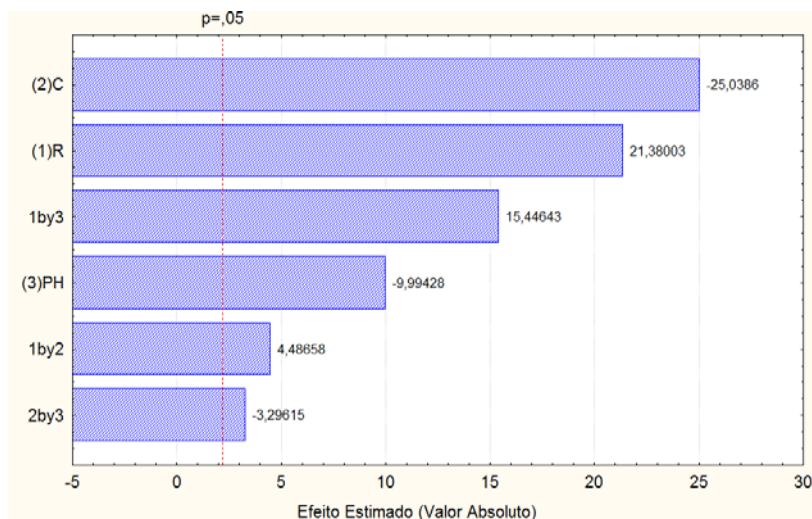
**Tabela 5: Avaliação Estatística do Planejamento experimental para  $C_{ox} = 4,8\%$**

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Números de Graus de Liberdade	Média Quadrática
Regressão	5192,528	6	865,4213
Resíduos	116,167	11	10,5606
Falta de Ajuste	76,87	2	38,4355
Erro Puro	39,29600	11	3,5724
Total	5308,70	19	
$F_{calculado}$ REG	<b>81,95</b>		
$F_{tabelado}$ REG	<b>3,0946</b>		
$F_{calculado} \cdot F_{tabelado}^{-1}$	<b>26,48</b>		
%Mx. Explicada	97,66		
%Mx. Explicável	99,47		
$R^2$	<b>0,98</b>		

O modelo estatístico empírico obtido pela regressão dos dados experimentais com os parâmetros que apresentaram efeito estatisticamente significativo esta apresentado pela Equação (7), o que comprova a influencia positiva da agitação sobre a eficiência da remoção da cor, assim como as interações agitação e concentração. As interações concentração e pH apresentam influência negativa, tendo também a concentração e pH parcelas negativas na equação.

$$E = 69,53 + 10,10 \text{ Rot} - 11,83 \text{ Conc} - 4,72 \text{ pH} + 2,12 \text{ Rot Conc} + 7,29 \text{ Rot Conc} - 1,55 \text{ Conc pH} \quad \text{Equação (7)}$$

Com os dados obtidos pelo planejamento foi possível comprovar através do gráfico de Pareto (Figura 8) que as variáveis agitação e concentração apresentaram efeito significativo para os ensaios realizados, assim como suas interações, apresentado a concentração da solução do corante como sendo a variável de maior influencia para o modelo.



**Figura 8: Gráfico de Pareto referente ao Planejamento experimental,  $C_{ox} = 4,8\%$**

As Figuras 9 e 10 representam as superfícies de respostas com o auxílio do software Statistic 5.0 através da utilização dos dados experimentais, após tratamento de otimização por planejamento fatorial <sup>23</sup>. Na superfície da Figura 9 observa-se que as melhores regiões de eficiências estão localizadas nos pontos de baixa concentração da solução corante e maior agitação. Na superfície da Figura 10 observa-se que as melhores eficiências estão localizadas nas regiões de pH baixo e maior agitação.

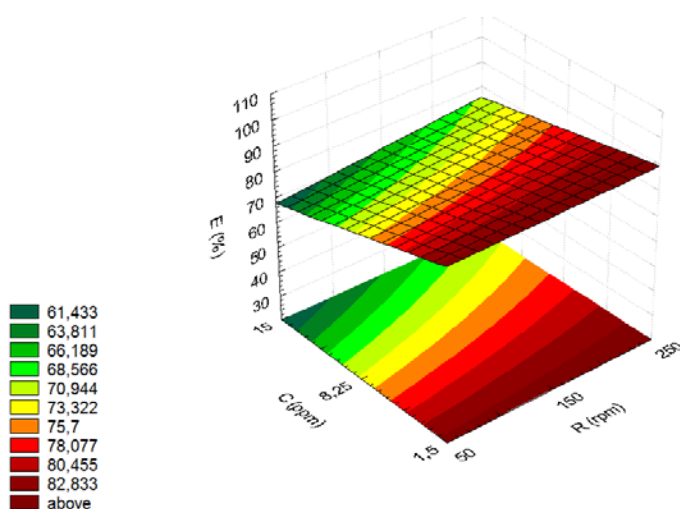


Figura 9: Superfície de resposta para remoção da coloração com  $C_{ox} = 4,8\%$ .

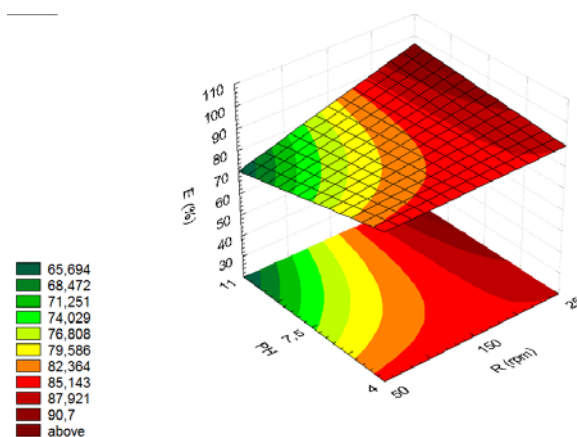
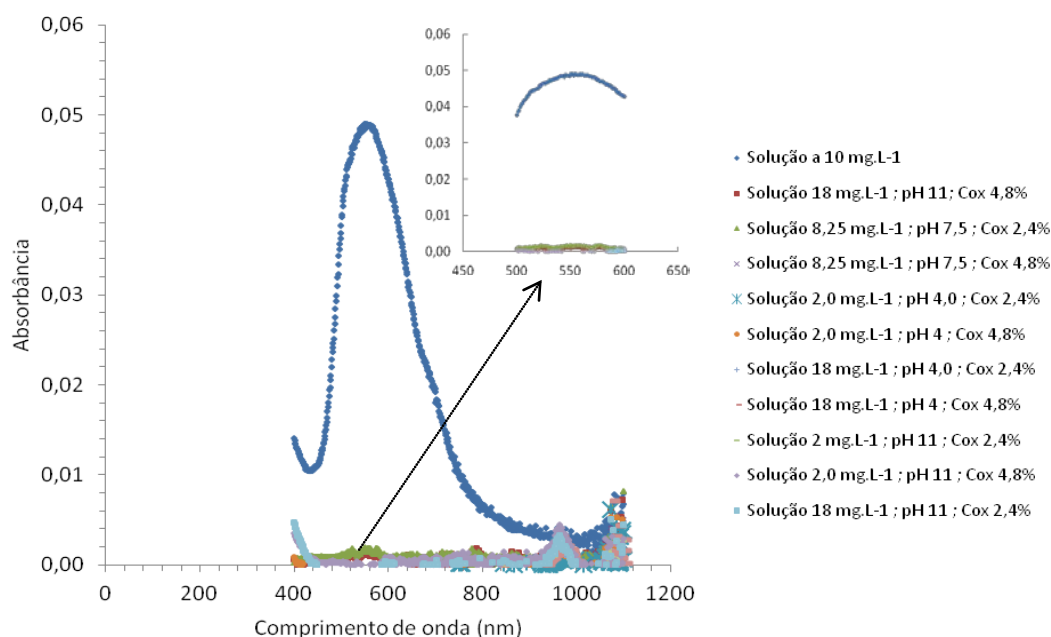


Figura 10: Superfície de resposta para remoção da coloração com  $C_{ox} = 4,8\%$ .

### Descoloração das soluções aquosa dos planejamentos fatoriais $2^3$ :

A Figura 11 abaixo mostra a descoloração de todas as soluções aquosa do corante Foron azul S-RLB preparada em laboratório após oxidação com a solução do hipoclorito de cálcio 2,4% e 4,8%, onde se realizou a varredura do espectro de todas as amostras do planejamento fatorial  $2^3$ , dentro da região do visível.



**Figura 11: Descolorimento das soluções aquosas dos planejamentos fatorial 2<sup>3</sup>**

## CONCLUSÕES

As seguintes considerações podem ser listadas, após a conclusão desta pesquisa e análise dos resultados obtidos.

A proposta desta pesquisa para degradação da cor da solução do corante Foron Azul S-RLB preparada em laboratório mostrou-se extremamente satisfatória, permitindo não só a comprovação da eficácia da oxidação, como também na utilização de um recurso ainda não disponível para o mercado de tratamento de efluentes que é o hipoclorito de cálcio em solução.

Pelo método de planejamento experimental conclui-se que a variável que mais influenciam no processo da remoção de cor, via oxidação é a concentração.

A eficiência máxima de remoção do corante Foron Azul S-RLB foi de 96,26% utilizando o oxidante com concentração de 2,4% para o pH=4, rotação de 250 rpm e concentração da solução corante de 1,5 mg/L.

A eficiência máxima de remoção do corante Foron Azul S-RLB foi de 95,52% utilizando o oxidante com concentração de 4,8% para o pH=11, rotação de 250 rpm e concentração da solução corante de 1,5 mg/L.

A concentração do oxidante utilizada nesta pesquisa tem relação direta na eficiência de remoção da cor, assim como no tempo de residência.

Esta pesquisa revelou que a solução de Hipoclorito de Cálcio em solução é altamente atrativa para remoção da cor de corantes azo de efluentes têxteis, podendo desencadear uma nova rota tecnológica para tratamento de efluentes industriais.

## AGRADECIMENTOS

As empresas Clariant do Brasil e LONZA S/A, ao CNPq, a CAPES, a FACEPE, a PROPESQ-UFPE, a UFPE e ao GPTA (Grupo de Processos e Tecnologias Ambientais) DEQ-UFPE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, E.; ASSALIN, M.R.; ROSA, M.A.; DURAN, N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. *Quím. Nova*, vol. 27, nº5, p.818-824, 2004.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Solução de hipoclorito de sódio comercial – Determinação do teor de cloro ativo pelo método volumétrico: NBR 9425. Rio de Janeiro, 2005.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Hipoclorito de Cálcio – Especificação: NBR 11887. Rio de Janeiro, 2003.
4. BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. v.1, 4.ed. Coleção Livros-Textos, Campinas: UNICAMP, 2007. 480 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Regional de Blumenau, Santa Catarina, 2006.
5. EDWARDS, J.C. Investigation of color removal by chemical oxidation for three reactive textile dyes and spent textile dye wastewater. Blackburg, 2000. 56 f. Dissertação (Master in Environmental Science and Engineering) - Department of Civil and Environmental Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University.
6. HASSEMER, M.E.N e SENS, M.L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo Físico-Químico com ozônio e coagulação/floculação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 7, nº 1 e 2, 2002.
7. JARDIM, W. F. e CANELA, M. C. 2004. Caderno Temático: Fundamentos da Oxidação Química no Tratamento de Efluentes e Remediação de Solos. IQ/Unicamp, UENF/RJ.
8. KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; DE MORAES, S.G.; DURAN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. *Quím. Nova*, vol. 25, nº1, 78-82, 2002.
9. MACEDO, J.A. Águas e Águas. Ortofarma, p.109, 2000.
10. WHITE, G.C. Handbook of Chlorination. Van Nostrand Reinhold Company, p.216, 1972.