

III-058 – AVALIAÇÃO DE TRÊS CALES PARA O TRATAMENTO DE LIXIVIADOS POR COAGULAÇÃO**Patrícia Maria Paulino**

Graduada em Biologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2008). Atualmente é mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco na área de Geotecnia Ambiental.

Etiene Elayne Meireles da Rocha

Graduada em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal do Pará (2005), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2008). Atualmente é doutoranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (Geotecnia Ambiental). Especialista na área de Resíduos Sólidos.

Joelma Morais Ferreira

Engenheira Química e mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba e Doutora em Engenharia de processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Atualmente é professora colaboradora do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco e Co-Orientadora do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química, da Universidade Federal de Pernambuco. Tem experiência na área de Adsorção, Planejamento Experimental, Tratamento de Efluentes e Meio Ambiente.

José Fernando Tomé Jucá

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, mestre em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Doutor pela Universidad Politécnica de Madrid. Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Pesquisador do CNPq. Bolsista de Produtividade 1B. Em 1994 criou e coordena o Grupo de Geotecnia Ambiental aplicada a Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (GRS/UFPE), onde desenvolve vários projetos de pesquisa financiados por agências de fomento e Empresas e Poder Público.

Maurício Alves da Motta Sobrinho⁽¹⁾

Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Católica de Pernambuco (1992), mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande (1995) e doutorado em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (2001). Atualmente é 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⁽¹⁾: UFPE - Departamento de Engenharia Química - Rua Prof. Arthur de Sá, s/n - Cidade universitária - Recife - PE - CEP 50.740-521- Brasil - Tel: +55 (81) 2126-7268 - Fax: +55 (81) 2126-7278 - e-mail: mottas@ufpe.br.

RESUMO

Atualmente, uma das grandes preocupações ambientais da sociedade contemporânea está relacionada aos resíduos sólidos gerados pela produção de bens e serviços. A disposição de resíduos em aterros sanitários constitui a técnica mais utilizada mundialmente para a remediação de resíduos sólidos. Os perigos dos lixiviados são devidos às altas concentrações de poluentes orgânicos e nitrogênio amoniacal. Agentes patogênicos e substâncias químicas tóxicas podem estar presentes. Para evitar os problemas ambientais causados pelo descarte desse efluente no meio-ambiente é importante e necessário que sejam estudados métodos de pré-tratamento mais eficientes, visto que esse tratamento apresenta inúmeras dificuldades devido à dinâmica das características qualitativas e quantitativas desse tipo de efluente. O presente trabalho consistiu na avaliação do método de coagulação/floculação no tratamento de lixiviados gerados no Aterro da Muribeca-PE. Foi determinada a melhor dosagem de hidróxido de cálcio através de um planejamento fatorial 2^4 , utilizando combinações de variáveis como massa do coagulante, tempo de agitação, tempo de sedimentação e velocidade de agitação. Como coagulante, foi estudado diferentes marcas de hidróxido de cálcio comercial (Fmaia – CPA; Hidrafort – CPE e Qualical – CSP). Analisando como parâmetros de resposta a remoção de cor e turbidez do lixiviado, Para análise dos resultados do planejamento experimental, Diagramas de Pareto com nível de significância de 95% foram empregados para ilustrar as estimativas dos efeitos principais lineares e de segunda ordem, em valor absoluto, dos fatores em relação às variáveis respostas estudadas. A significância dos efeitos foram testadas por análise de variância (ANOVA). Foi observado através do diagrama de Pareto e dos gráficos de superfície de resposta, que a cal CPA apresentou as melhores condições para remoção de cor e turbidez por apresentar uma menor quantidade de impurezas, porém, por uma questão econômica a cal CSP apresenta uma utilização mais viável para aplicação em escala de campo. Pode-se concluir que a coagulação/floculação com cal pode remover ao mesmo tempo a cor e a turbidez, com valores significativos para o parâmetro cor acima de 80%. Através do

planejamento fatorial observou-se que a concentração de cal influenciou o processo tanto nos resultados da turbidez como para a remoção da cor e que estes resultados não estão associados apenas à concentração do agente coagulante, mas também a influência de outros fatores como a velocidade de agitação, tempo de agitação, massa do coagulante e tempo de sedimentação.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, coagulação, hidróxido de cálcio.

INTRODUÇÃO

A geração de lixiviados constitui-se na principal preocupação quanto à degradação ambiental de áreas localizadas próximas ao local de disposição final dos resíduos sólidos, uma vez que o tratamento desses efluentes tem se mostrado um grande desafio. Isso em função da significativa variabilidade de suas características, dependente de inúmeros fatores, quase sempre de difícil determinação, além da imprevisibilidade das vazões aplicadas e da elevada carga poluente (PROSAB, 2003).

Os lixiviados são considerados um problema do ponto de vista do tratamento, uma vez que são altamente contaminantes e sua qualidade e quantidade se modificam, com o passar do tempo, em um mesmo aterro (QASIM, 1994). A legislação ambiental exige tratamento adequado para o lançamento dos lixiviados, e normalmente para atender os padrões estabelecidos é necessária uma combinação de diferentes métodos (VAN ELK, 2007).

Poucas pesquisas até o presente momento abordaram com profundidade a viabilidade da associação da precipitação química com os processos biológicos no tratamento de lixiviado. A consequência da utilização dos produtos químicos sobre a biota do tratamento ainda é uma lacuna, pois comumente a precipitação química de lixiviado é avaliada como um processo de tratamento isolado. Não é possível prescindir-se do tratamento biológico em um cenário como o brasileiro e, ao mesmo tempo, a precipitação química pode ser um coadjuvante interessante em alguns sistemas de tratamento (BIDONE, 2007).

A precipitação química é a técnica mais comumente usada para a remoção de metais pesados de águas residuárias. Uma remoção mais eficiente pode ser obtida com a precipitação na forma de sulfetos, mas a precipitação na forma de hidróxidos, usando cal ou soda caustica, é a mais usada. Isto se deve ao fato da precipitação com sulfeto apresentar maior custo e poder gerar gás sulfídrico, enquanto que a precipitação com hidróxido apresenta menor custo e é menos perigosa (FILHO, 2007).

Os efeitos de diferentes dosagens de coagulante e diferentes valores de pH sobre os processos de coagulação foram comparados por Maleki et al. (2009). Eles utilizaram cloreto férrico e sulfato de alumínio como coagulantes convencionais. Os resultados experimentais mostraram que uma remoção de DQO de 18% e 90% de remoção de metais pesados pode ser obtida em pH 6,5 (ótimo para alum) com a adição de 1400 mg L⁻¹ de alumínio e uma remoção de 28% de remoção de DQO e 86% de metais pesados foi obtida em pH 10 (ideal para o cloreto férrico) com a adição de 2000 mg L⁻¹ de cloreto férrico.

Os processos de Coagulação-floculação têm sido largamente empregados para remoção de compostos orgânicos não biodegradáveis e metais pesados do lixiviado (URASE et al., 1997). Amokrane et al. (1997) utilizaram sais de ferro e de alumínio no tratamento de lixiviados com baixa relação DBO5/DQO, obtendo eficiências de até 65% na redução DQO e de carbono orgânico total.

Lixiviado de aterro de resíduos sólidos do município de Konya (Turquia) foi utilizado por Yilmaz et al. (2010) para avaliar a remoção de cor e matéria orgânica utilizando diferentes reagentes (Alumínio, FeCl₃, FeSO₄), com ajuste de pH com cal, NaOH e H₂SO₄. Para a remoção de matéria orgânica, as maiores eficiências foram alcançadas com 44% usando 9 g/L de alumínio em pH 11 ajustado com cal e em 45% utilizando 15 g/L de FeCl₃ em pH 3. Estudos de remoção de cor indicou que a maior eficiência de remoção da cor foi obtida quando o pH foi ajustado com cal.

Martins (2005) utilizando cloreto férrico para tratamento de líquidos percolados gerados em aterro sanitário, observou que a dosagem que apresentou melhor redução de cor e turbidez foi a de 1200 mg/L, com percentuais de 70% e 82%, respectivamente. O melhor tempo de mistura rápida encontrado foi de 40 segundos.

O que corresponde aos gradientes Máximo de massa do coagulante e tempo de agitação.

Andrés *et al.* (2007) relatam que a melhor dosagem do agente coagulante $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ para remoção de aproximadamente 50% de turbidez em lixiviado foi conseguida na concentração acima de 150 mg/L. numa velocidade de 150 rpm por 1 minuto.

Baseados em diversos estudos focados principalmente em tratamento de águas superficiais e subterrâneas, a precipitação química com hidróxido de cálcio é capaz de remover moléculas orgânicas recalcitrantes de alto peso molecular, tais como os ácidos húmicos e fúlvicos (RENOU *et al.*, 2008b), bem como metais pesados na forma de hidróxido (KURNIAWAN *et al.*, 2006b).

A intensidade da cor do lixiviado de aterros é conferida basicamente pela presença de substâncias recalcitrantes de alto peso molecular, denominada húmicas, que estão presentes na matéria orgânica natural (RENOU *et al.*, 2008a), enquanto a turbidez é devida à presença de partículas em estado coloidal, em suspensão, de natureza orgânica ou inorgânica e outros organismos microscópicos (SAWYER *et al.*, 2003).

No tratamento de efluentes, o hidróxido de cálcio é usado principalmente para a correção de pH como agente precipitante para matéria orgânica, fosfatos, metais traços e como coagulante para remoção de materiais coloidais (SEMERJIAN & AYOUB, 2003). Alguns autores (GIORDANO, 2003; RENOU *et al.*, 2008b) tem utilizado o leite de cal em suas pesquisas, como tratamento primário de lixiviados estabilizados, oriundos de aterros diferentes.

Neste trabalho objetivou-se otimizar o processo de precipitação química através de um planejamento fatorial 2^4 utilizando leite de cal de três fabricantes diferentes, avaliando a eficiência do tratamento com cada um deles.

MATERIAIS E MÉTODOS

A movimentação da água das chuvas através do aterro sanitário que carrega materiais em suspensão e dissolvido com alto potencial de contaminação do meio ambiente é um dos problemas principais. Este efluente com um elevado grau de poluição é denominada de "lixiviado", "líquido percolado" ou mais comumente de "chorume". A composição dos lixiviados depende da natureza dos resíduos armazenados, da idade do aterro sanitário, do estágio de evolução, do tipo de técnica de armazenamento e da administração do local. A composição global é rotineiramente determinada pelas análises de parâmetros físico-químicos das substâncias derivadas do tratamento das águas.

As amostras de lixiviado utilizadas nesse trabalho foram provenientes do aterro da Muribeca-PE. As análises físico-químicas e os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no Laboratório de Contaminação Ambiental do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS), no Departamento de Engenharia Civil-UFPE. Todas as análises foram realizadas em duplicatas, para obtenção de resultados mais exatos e confiáveis.

Após a coleta, a caracterização das amostras, para avaliar o tratamento do lixiviado foi rigorosamente seguido, a partir dos métodos do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998) Os testes foram realizados sempre utilizando lixiviado bruto. Como coagulante, foi utilizado o hidróxido de cálcio comercial (CPE e CSP) e o hidróxido utilizado em análise laboratorial (CPA) conforme descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição das diferentes marcas comerciais de hidróxido de cálcio utilizado na pesquisa.

Produto	Descrição	Fabricante
P.A (CPA)	Uso em laboratório	Fmaia
Comercial (CPE)	Construção civil	Hidrafort
Comercial (CSP)	Construção civil	Qualical

As cales são constituídas basicamente de óxido de cálcio ou óxido de magnésio ou mais comumente pela mistura destes dois compostos.

Os ensaios foram executados em jar test, seguindo 5 fases : fase 1: Tempo de coagulação; fase 2: velocidade de coagulação; fase 3: tempo de floculação; fase 4: velocidade de floculação; fase 5: tempo de sedimentação. Após

os ensaios, procedeu-se as análises do lixiviado tratado considerando os parâmetros cor e turbidez, avaliando eficiência quanto à remoção de cor e redução de turbidez.

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA A OTIMIZAÇÃO DE CONDIÇÕES DO PROCESSO

O estudo da otimização das condições do processo de coagulação/floculação foi realizado utilizando a metodologia do planejamento experimental do tipo fatorial completo.

O planejamento fatorial de experimentos é uma ferramenta utilizada em otimizações de processos que reduz a quantidade de ensaios a serem realizados no experimento, através de “design” de aproximações geométricas que proporcionam uma forma simples, confiável e eficiente de análise dos dados, já que se utiliza à metodologia de análise de superfície de resposta (RSM). Seus modelos são avaliados por parâmetros estatísticos específicos, contidos na metodologia de análise de variância dos dados (ANOVA). Nesta metodologia de otimização, as variáveis independentes são conhecidas como sendo os fatores, suas variações são chamadas de níveis, enquanto que as variáveis dependentes são tidas como sendo as respostas (Barros Neto et al., 1995).

Elaborou-se um planejamento experimental fatorial completo 2^4 constituído por 19 ensaios, incluindo 3 repetições no ponto central, para verificar os efeitos e as interações das variáveis independentes. velocidade de floculação, tempo de floculação, massa do coagulante e tempo de decantação sobre as variáveis resposta cor e turbidez, no estudo de otimização do processo de floculação/coagulação para os três coagulantes estudados (cal P.A (CPA), cal comercial (CPE) e cal comercial (CSP)).

A Tabela 2 apresenta os níveis e os valores das variáveis utilizadas nos ensaios experimentais baseados em valores empregados previamente na literatura (MÁXIMO e CASTILHOS Jr, 2007)

Tabela 2: Níveis e valores das variáveis do Planejamento Experimental Fatorial 2^4 .

Variáveis	Mínimo (-)	Médio (0)	Máximo (+)
Velocidade de floculação (rpm)	36	72	108
Tempo de Floculação (min)	5	15	25
Massa do coagulante (g)	50	100	150
Tempo de decantação (min)	10	35	60

As soluções foram previamente preparadas dissolvendo 50, 100 e 150g/L de coagulante em 1000mL de água deionizada (C= 50mg/mL ou 5%; 100mg/mL ou 10% e 150mg/L ou 15%), adicionando 100 mL para 900 mL do lixiviado, compreendendo um volume final de 1L no *jar test*.

Os ensaios realizados no *jar test*, iniciaram sempre pela coagulação, com um tempo de mistura rápida de 60 segundos e uma velocidade de 115 rpm. Em seguida foram utilizados os valores do planejamento para os tempos e velocidade de floculação, assim como para o tempo de sedimentação e para a massa de coagulante.

Os dados encontrados passaram por uma regressão quadrática pelo método dos mínimos quadráticos em modelos empíricos. A avaliação do ajuste dos dados aos modelos empíricos propostos foi feita pela metodologia da análise de variância (ANOVA) e a otimização do sistema pela metodologia da análise da superfície de resposta (RSM), descritas em Barros Neto *et al.* (1995).

Diagramas de Pareto com nível de significância de 95% foram empregados para ilustrar as estimativas dos efeitos principais lineares e de segunda ordem, em valor absoluto, dos fatores em relação às variáveis respostas estudadas. No diagrama de Pareto, a magnitude de cada efeito é representada pelas colunas e a linha transversal às colunas corresponde ao valor de p igual a 0,05 e indica o quão grande deve ser o efeito para ter significado estatístico. O ponto no qual os efeitos estimados são significativos ($p=0,05$) está indicado pela linha vertical vermelha.

As análises estatísticas dos planejamentos experimentais, incluindo o diagrama de Pareto foram realizadas usando o programa Statistica® versão 5.0 (statsoft.Inc, Tulsa/OK USA).

RESULTADOS

A intensidade da cor do lixiviado de aterros é conferida basicamente pela presença de substâncias recalcitrantes de alto peso molecular, denominada húmicas, que estão presentes na matéria orgânica natural (RENOU *et al.*, 2008a), enquanto a turbidez é devida à presença de partículas em estado coloidal, em suspensão, de natureza orgânica ou inorgânica e outros organismos microscópicos (SAWYER *et al.*, 2003). Os valores de cor foram elevados entre 3310 - 5550 Hz, enquanto para a turbidez, os valores ficaram entre 19,09 – 33,25 NTU para amostra bruta de lixiviado. Para a realização dos experimentos de coagulação/floculação, utilizou-se o lixiviado coletado na estação de tratamento de lixiviados da Muribeca (Jaboatão dos Guararapes/PE) referente ao mês de setembro, pois os meses anteriores serviram para fazer alguns ajustes experimentais.

Os teores medidos de alguns metais pesados nas amostras do lixiviado bruto são apresentados na Tabela 3, que também apresenta os limites de lançamento exigidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357/05). Dentre os valores de metais pesados apresentados, observa-se que a maioria desses estão bem abaixo dos valores máximo permitido para lançamento de efluentes em corpos receptores.

Tabela 3. Resultados das análises de metais presentes nas amostras brutas de lixiviado e os respectivos limites de lançamento para efluentes em corpos receptores.

Elemento	Amostra 1 (mg/L)	Amostra 2 (mg/L)	Amostra 3 (mg/L)	*VMP (mg/L)
Fe	4,925	7,375	7,325	15,0 (dissolvido)
Mn	1,05	2,175	3,575	1,0 (dissolvido)
Zn	1,875	4,275	4,625	5,0
Cu	N/A	N/A	N/A	1,0 (dissolvido)
Ni	N/A	N/A	N/A	2,0
Pb	N/A	N/A	N/A	0,5
Cr	0,125	0,175	0,575	0,5

*Valores Máximos Permitidos por Lei para lançamento de efluentes determinados pela Resolução CONAMA 357/05. N.D. – Não detectado.

PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL FATORIAL 2⁴

Análise de turbidez

A partir dos resultados do planejamento fatorial completo, o gráfico de Pareto foi obtido para visualização dos efeitos estimados dos fatores principais. O gráfico de Pareto fornece uma representação gráfica para estes fatores e permite observar a magnitude e a importância de um determinado efeito. Neste gráfico, as barras (fatores) que graficamente ultrapassam a linha de significância exercem uma influência estatisticamente significativa sobre o resultado

Através dos gráficos de Pareto, (Figuras 1a e 1b) foi possível observar que as variáveis que mais influenciaram de forma significativa foram: tempo de sedimentação e massa do coagulante para cal CSP e CPA respectivamente.

Para a cal CPE não foi verificado nenhuma influência significativa no processo das variáveis de entrada nos níveis estudados.

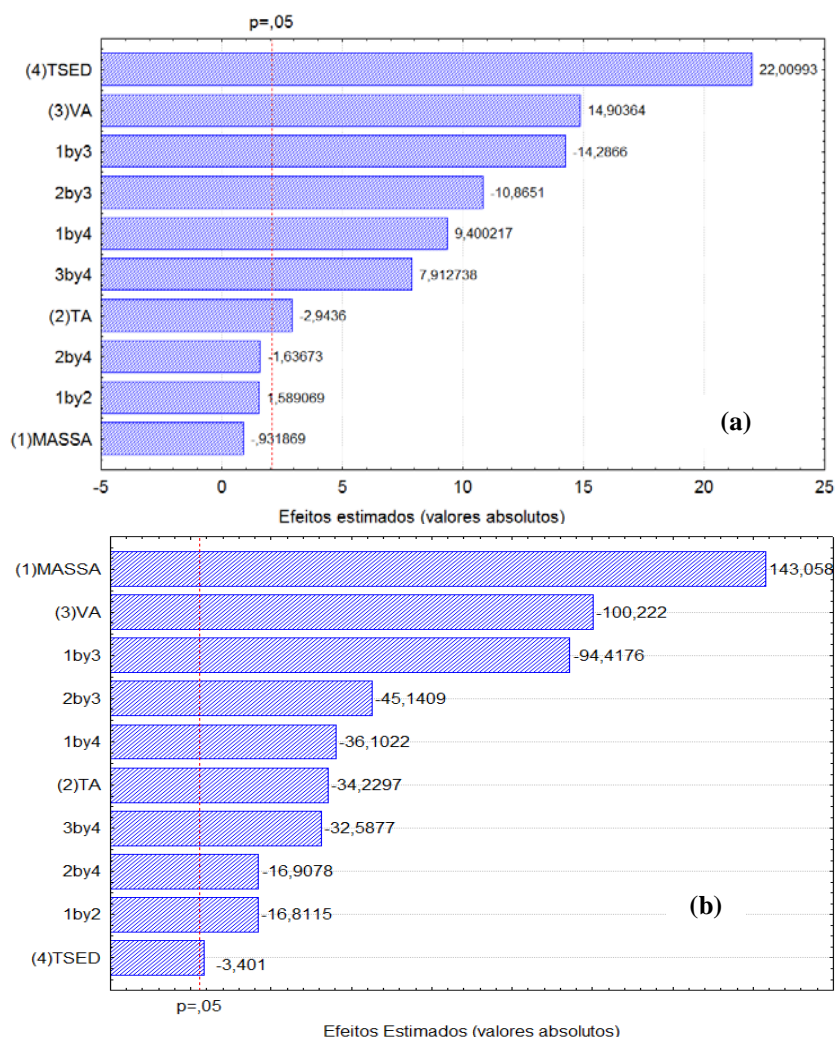


Figura 1: Gráfico de Pareto com as variáveis que influenciaram na análise de redução da turbidez para a cal CSP (a) e CPA (b)

Os dados dos planejamentos fatoriais também foram submetidos a uma análise de variância, análise de regressão e teste F. Verificou-se, conforme os dados contidos na Tabela 4, que o modelo para a CPA apresenta um coeficiente de determinação ($R^2 = 0,93$) satisfatório e uma regressão estatisticamente significativa ($F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}} > 1$), ao nível de 95% de confiança de acordo com Barros Neto et al (1995). Para a CSP e CPE, o teste F confirma, para regressão, o baixo valor de R^2 obtido de 0,48 e 0,27 respectivamente, no entanto é necessário um ajuste nestes modelos, visto que os valores do teste F_{cal} foram inferiores aos do F_{tab} .

Tabela 4: Valores calculados da análise da variância (ANOVA) para variável turbidez mediante a utilização do programa Statistica 5.0.

	TURBIDEZ		
	CPA	CSP	CPE
R^2	0,93	0,48	0,27
$F_{\text{calculado}}$	27,22	1,92	0,76
$F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}}$	11,73	0,83	0,33

Após uma triagem dos fatores utilizando o planejamento fatorial, uma análise de superfície de resposta foi realizada para a cal CPA. A utilização da Metodologia de Superfície de Resposta possibilita a pesquisa de duas variáveis simultaneamente e a determinação de regiões maximizadas e minimizadas.

A Figura 2 apresenta as superfícies de resposta construídas a partir do modelo obtido para a cal CPA. Através desta observa-se o efeito da velocidade de agitação e da massa sobre a redução da turbidez (Figura 2a) e o efeito da velocidade sobre o tempo de agitação (Figura 2b), onde percebe-se uma redução da turbidez quando utilizou-se maiores faixas de velocidade com menores concentrações da cal e com maiores tempo de agitação, respectivamente

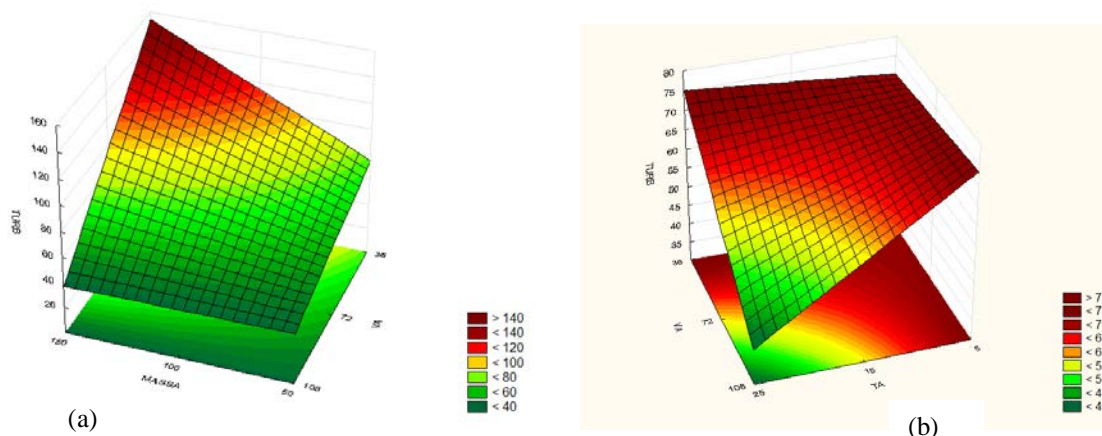


Figura 2: Superfície de resposta em função da redução da turbidez para cal CPA

A turbidez mostrou-se um parâmetro importante na indicação da performance dos coagulantes, pois a sua redução indica a remoção dos sólidos em suspensão no lixiviado no seu tratamento.

Análise de cor

A Figura 3 apresenta o Gráfico de Pareto obtido no planejamento experimental, no qual o efeito é tão significativo na remoção da cor quanto mais à direita da linha vermelha ele estiver. Também são mostrados os efeitos das interações das variáveis duas a duas. Segundo os gráficos, observa-se que todas as variáveis apresentaram efeito significativo na remoção da cor para as três cales estudadas. O tempo de agitação (TA) e a massa interferiram na remoção da cor de forma inversa (valor negativo do coeficiente), ou seja, quanto maior esse tempo e a massa teremos menos cor no lixiviado. Considerando as quatro variáveis, a velocidade de agitação (VA) foi a que menos influenciou nos três casos. Avaliando o tempo de sedimentação percebe-se sua influência representativa para a cal CSP (Figura 3a). A interação entre tempo e velocidade de agitação (2 e 3) também exerceu influência para as três cales, afetando na remoção da cor.

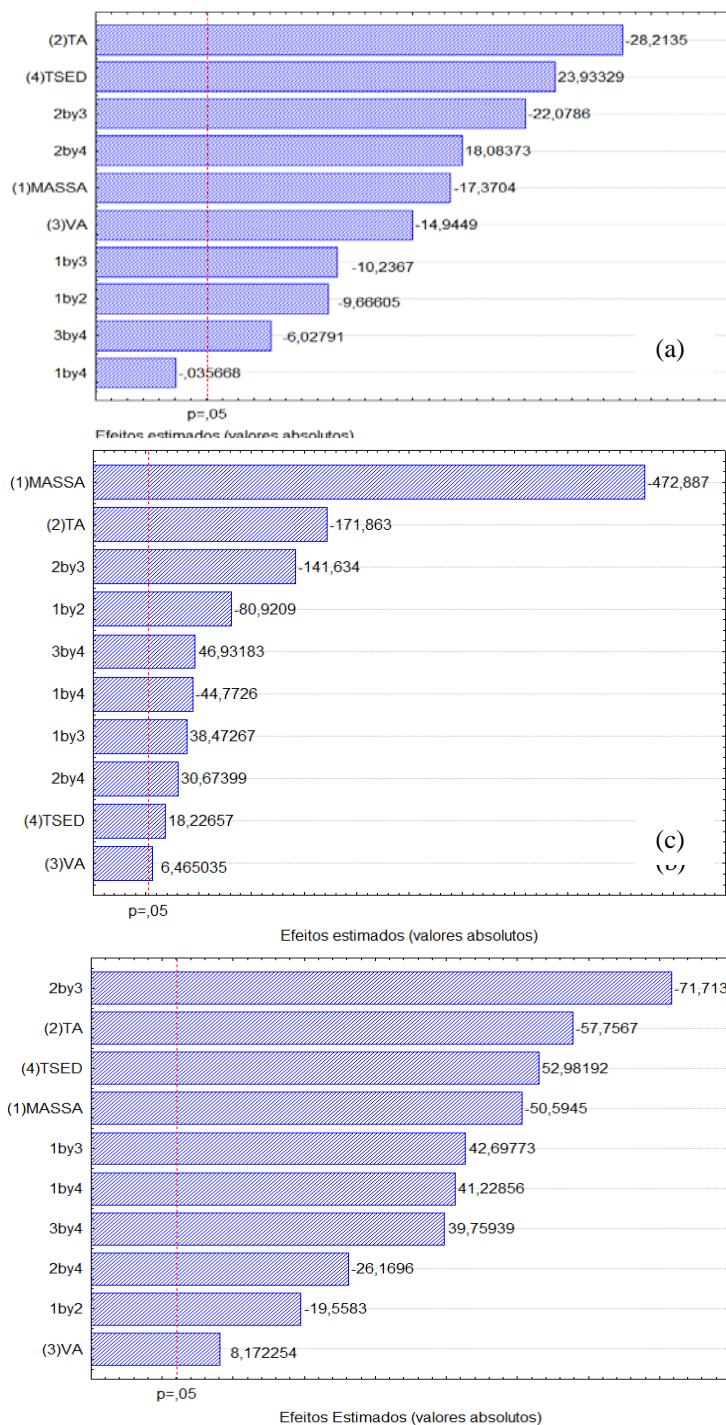


Figura 3: Gráfico de Pareto com as variáveis que influenciaram na análise de remoção de cor para a cal CSP (a), CPA (b) e CPE (c).

A Tabela 5 ilustra os valores obtidos para a análise de variância (ANOVA), para cal CPA, CSP e CPE calculados mediante a utilização do programa Statistica 5.0 estudada.

Tabela 5: Valores calculados da análise da variância (ANOVA) para variável cor.

	COR		
	CPA	CSP	CPE
R^2	0,86	0,92	0,82
$F_{\text{calculado}}$	1,95	22,68	9,51
$F_{\text{calculado}} / F_{\text{tabelado}}$	0,84	9,77	4,01

Uma análise de significância estatística dos valores observados na Tabela 5 é um fator importante, uma vez que os dados experimentais são utilizados para produzir um modelo empírico, através da regressão. O coeficiente de determinação R^2 quantifica a qualidade do ajuste do modelo, pois fornece uma medida da proporção da variação explicada pela equação de regressão em relação à variação total das respostas. O teste F apresenta a razão entre o F calculado e o F tabelado, sempre que esta relação for maior que 1 a regressão é estatisticamente significativa havendo relação entre as variáveis independentes e dependentes. Para que uma regressão seja não apenas estatisticamente significativa, mas também útil para fins preditivos, o valor da razão deve ser no mínimo maior que 4 (Barros Neto et al., 1996).

De acordo com os valores apresentados na Tabela 5, verifica-se um coeficiente de determinação (R^2) satisfatório para as três cals utilizadas no processo de remoção da cor, no entanto os resultados obtidos através do teste F, indicam que o modelo para a CPA necessita de um melhor ajuste, pelo fato da razão de F calculado por F tabelado ter sido inferior a 1

A Figura 4 mostra as superfícies de resposta geradas em Software Statistica for Windows 5.0, através do uso dos dados obtidos experimentalmente, após uma otimização realizada com auxílio do planejamento fatorial. Portanto, percebe-se a tendência da redução de cor com o aumento do tempo e velocidade de agitação (Figura 4a) e com a diminuição do tempo de sedimentação (Figura 4b).

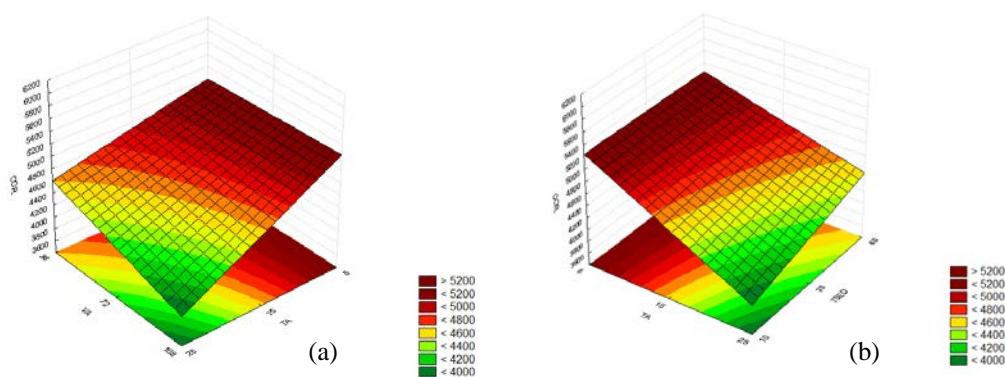


Figura 4: Superfície de resposta em função da redução da turbidez para cal CSP

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a coagulação/floculação com cal pode remover ao mesmo tempo a cor e a turbidez, com valores significativos para o parâmetro cor acima de 80%. Através dos experimentos observou-se que a concentração de cal para as condições ótimas influenciou o processo tanto nos resultados da turbidez como para a remoção da cor. Verificou-se ainda que a velocidade de floculação favorece a remoção da cor por um contato mais íntimo do floco com o líquido, todavia, desfavorece a remoção de turbidez pela desestruturação do floco.

Em relação aos parâmetros físico-químicos analisados nessa pesquisa, e para a correlação estabelecida entre as variáveis estudadas, foi observado que a eficiência do método não está associada apenas à concentração do agente coagulante, mas também a influencia de outros fatores (velocidade de agitação, tempo de agitação, etc.).

De acordo com o Teste F aplicado, através das análises estatísticas, verificou-se que a cal CPA apresentou melhor decréscimo da turbidez enquanto que a cal CSP foi a que mais favoreceu a remoção da cor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation. *Water Research*. v.31, n.11, p. 2775-2782, 1997.
2. ANDRÉS, P.; DIAZ, A.; CORTIJO, M. Coagulation-flocculation and ammoniacal stripping of leachates from municipal solid waste landfill. *Journal of environmental science and health*. v. 42, p. 2033-2038. 2007.
3. BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Planejamento e otimização de experimentos. v.1, 1.ed., Série Manuais, Campinas: UNICAMP, 1995, 302p.
4. KURNIAWAN, T.A.; LO, W.; CHAN, G.Y.S. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, n. 28, p. 80-100. 2006.
5. MALEKI, A.; ZAZOULI, M.A.; IZANLOO, H.; REZAEI, R. Composting Plant Leachate Treatment by Coagulation-Flocculation Process. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, v.5, n.5, p. 638-643. 2009.
6. MARTINS, C. L.; SILVA, J. D.; RODRIGUES, M. C.; MÁXIMO V. A. JÚNIOR A. B. C. O uso conjugado de processos físico-químicos e biológicos para o tratamento de líquidos percolados gerados em aterros sanitários no estado de santa Catarina. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande-MS. 2005.
7. QASIM, S.R.; CHIANG, W. (1994). Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment. Lancaster : Technomic Publishing Company, 339 p.
8. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*. v. 150, p. 468–493. 2008a.
9. RENOU, S.; POULAIN, S.; GIVAUDAN, J.G.; MOULIN, P. Treatment process adapted to stabilized leachates: Lime precipitation – prefiltration – reverse osmosis. *Journal of Membrane Science*, v. 313, p. 9-22. 2008b.
10. SAWYER, C.N.; MCCARTY, P.L.; PARKIN, G.F. Chemistry for environmental engineering and science. 5. ed. New York: McGraw-Hill. 752 p. 2003.
11. SEMERJIAN, L.; AYOUB, G. M. High-pH-magnesium coagulation-flocculation in wastewater treatment. *Advances in Environmental Research*. v. 7, n. 2, p. 389-403. 2003
12. URASE, T.; SALEQUZZAMAN, M.; KOBAYASHI, S. et al. Effect of high concentration of organic and inorganic matters in landfill leachate on the treatment of heavy metals in very low concentration level, *water Sci. Technol.* 36. p. 349-356. 1997.
13. YILMAZ, T.; APAYDIN, S.; BERKTAY, A. Coagulation-Flocculation and Air Stripping as a Pretreatment of Young Landfill Leachate. *The Open Environmental Engineering Journal*, v.3, p. 42-48, 2010.