

III-060 – AVALIAÇÃO PARAMÉTRICA E OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE LIXIVIADOS POR PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS

Patricia Maria de Souza Paulino

Possui graduação em Licenciatura Plena em Ciências Biológicas pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2008). É mestre em Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco e atualmente é doutoranda em Geotecnia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFPE.

Diego Eugênio Bulhões de Oliveira

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (2008), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (2012). Monitor da disciplina Mecânica dos Sólidos na Universidade Federal de Alagoas (2006). Experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Construção, atuando principalmente nos seguintes temas: gerenciamento, planejamento, controle, projetos e execuções de obras.

Pulkra Silva

Possui Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco (2011) e graduação em Engenharia Química pela UFPE (2008). Bolsista BCT da FACEPE em projeto conjunto UFPE – CETENE.

Joelma Moraes Ferreira

Possui graduação (1998) e mestrado (2001) em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba (2001) e doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (2006). Atualmente faz Pós-Doutorado pela UFPE na área de Meio Ambiente, é bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado (CAPES) e é Co-orientadora do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Química, da UFPE. Tem experiência na área de Meio Ambiente.

Maurício Alves da Motta Sobrinho⁽¹⁾

Engenheiro Químico pela Universidade Católica de Pernambuco. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Campina Grande-PB. Doutor em Engenharia Química pelo Institut National Polytechnique de Lorraine, França. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco.

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

De maneira geral o lixiviado quando submetido aos tratamentos convencionais (lagoa aeróbia, anaeróbia e facultativa), ainda apresentam grandes concentrações de poluentes potenciais, principalmente de carga orgânica representada pelas substâncias húmicas responsáveis pela coloração do lixiviado. Devido à complexidade e o alto grau de poluição deste efluente, neste trabalho foi utilizada a combinação das técnicas de coagulação/floculação e adsorção para o tratamento do lixiviado. Inicialmente o lixiviado foi coletado do Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca-PE, e pré-tratado pelo processo de coagulação/floculação utilizando hidróxido de cálcio comercial como coagulante, nas condições já otimizadas por estudos realizados anteriormente. O lixiviado após ter sido pré-tratado, foi submetido à técnica de adsorção com o intuito principal de remover as substâncias húmicas (cor do lixiviado). O adsorvente utilizado no processo de adsorção foi o resíduo do cultivo de ostra. Os experimentos de adsorção foram realizados em batelada utilizando as melhores condições encontradas através da técnica de planejamento experimental fatorial: adsorvente com granulometria de 100 mesh calcinado a 1000 °C durante 30 minutos, quantidade de adsorvente 3 g e agitação de 300 rpm. No geral a combinação dos processos de tratamento em questão apresentou-se bastante eficiente onde foi possível obter uma redução de aproximadamente 95% da DBO, 40% da DQO, 70% da cor do lixiviado.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, adsorção, resíduo da malacocultura, ostra.

INTRODUÇÃO

Os lixões respondem pelo destino final de aproximadamente 22,5% de todo resíduo produzido no Brasil e se caracterizam por serem depósitos a céu aberto onde o lixo é apenas dispensado, sem nenhum tratamento dos resíduos em decomposição ou proteção ambiental. Por isso, há alta contaminação do solo e da região ao redor

desses lixões, assim como é possível a contaminação do lençol freático pela percolação do lixiviado no solo (JUCÁ, 2003). O lixiviado, contém altas concentrações de várias substâncias orgânicas e inorgânicas, além de possuir um potencial de poluição que pode ser de cerca de 200 vezes maior do que o esgoto doméstico (CECCONELLO, 2005). O chorume é uma substância líquida resultante do processo da decomposição de resíduos orgânicos. É viscoso e possui um cheiro muito forte e desagradável enquanto os lixiviados são o resultado da percolação de água, através da massa de resíduos que forma o chorume, na maior parte das vezes formam-se a partir de água com origem em fontes externas tais como a chuva, escoamentos superficiais, águas subterrâneas ou águas de nascente.

Para evitar problemas ambientais e a saúde pública, causados pelo descarte do lixiviado no meio-ambiente, é importante e necessário que sejam estudadas formas e tecnologias que resultem em um pós-tratamento de baixo custo condizente com a realidade brasileira.

De acordo com Kargi e Pamukoglu (2004) utiliza-se usualmente uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos para o tratamento do lixiviado, visto que, segundo eles, é difícil se obter uma remoção de poluentes satisfatória usando-se apenas um destes processos, dada à complexidade e o alto grau de poluição deste efluente.

Entre os tratamentos utilizados para remover compostos orgânicos recalcitrantes do lixiviado, a adsorção é um processo a se destacar entre as técnicas utilizadas devido aos processos físicos e químicos ocorrentes nas reações.

A presente pesquisa teve o objetivo de avaliar a eficiência no tratamento do lixiviado, utilizando os processos físico-químicos combinados de coagulação/floculação/decantação e adsorção. Além de verificar a viabilidade do resíduo da ostreicultura (concha da ostra) como adsorvente e realizar estudos de otimização do processo na remoção da cor do lixiviado.

MATERIAIS E MÉTODOS

O lixiviado utilizado para este estudo foi originado do aterro de resíduos sólidos situado na zona rural, localizado a 16 km da Cidade do Recife, no município de Jaboatão dos Guararapes, na localidade de Muribeca dos Guararapes. O aterro possui uma área total de 64 hectares, com perímetro de 3.848 metros.

Os ensaios de coagulação/floculação do lixiviado foram realizados em reatores estáticos ou comumente denominado “*Jar Test*” (Quimis modelo JT-203). Os ensaios no jar test utilizando hidróxido de cálcio, foram utilizados com o objetivo de simular em escala de laboratório as condições físicas de coagulação, floculação e sedimentação que poderiam ser observados posteriormente em escala de campo, seguindo 5 fases : fase 1: Tempo de coagulação = 1 minuto; fase 2: velocidade de coagulação = 115 rpm; fase 3: tempo de floculação = 25 minutos; fase 4: velocidade de floculação = 36 rpm; fase 5: tempo de sedimentação = 1 hora, valores retirados com base nos estudos de Paulino (2011). Após os ensaios, realizou-se toda análise do lixiviado tratado avaliando a eficiência quanto à remoção de cor.

Adsorvente

O conhecimento dos Moluscos vem sendo objeto de interesse e atenção desde o início da humanidade. Nos ensaios adsorptivos, foi utilizado um resíduo da ostreicultura, (conchas de ostra) coletada no litoral norte de Pernambuco como material adsorvente, cujo sua preparação esta descrita abaixo.

O adsorvente foi triturado em moinho de rolos e em seguida em moinho de bolas para ser classificado em peneiras da série de Tyler de 20, 60 e 100 mesh. A Figura 1 ilustra as conchas da ostra sem trituração e triturada, respectivamente.



Figura 1: Fotos das conchas de ostra: sem trituração (a) e triturada com granulometria de 20, 60 e 100 mesh, respectivamente (b).

Estudos iniciais realizados nessa pesquisa com as conchas “in natura” mostraram a necessidade de um tratamento para as conchas de ostra, por não apresentarem uma boa redução de cor, principal parâmetro estudado neste trabalho. Assim, foi analisado um tratamento térmico para aumentar a capacidade do resíduo a ser utilizado no tratamento. A ativação térmica foi realizada em forno mufla Quimis Q318M21. Para avaliar as melhores condições do tratamento térmico, utilizou-se a técnica de planejamento experimental fatorial.

Lixiviado

O lixiviado coletado no aterro da Muribeca-PE foi caracterizado e analisado os seguintes parâmetros: DBO₅, DQO, condutividade, pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Cor, Turbidez e a série de sólidos. Estes parâmetros foram analisados em três etapas, a primeira no lixiviado coletado, a segunda no lixiviado coagulado e a terceira no lixiviado coagulado e adsorvido nas condições otimizadas do processo. O parâmetro de estudo no processo adsorvivo foi à cor. A Tabela 1 apresenta a metodologia e os equipamentos utilizados para cada um destes parâmetros, tomando como referência o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA *et al.*, 1995).

Tabela 1: Métodos e equipamentos utilizados na caracterização do lixiviado.

Parâmetro	Método	Equipamentos
pH	Método eletrométrico - SMEWW 4500 B	Potenciômetro - DM 22 (Digimed)
Cor (Hazen)	Fotocolorimétrico - SMEWW 2120 C	Espectrofotômetro - Spectroquant Nova 60 (MERCK)
Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ /L)	medidor de oxigênio dissolvido	Oxímetro (Digimed)
Condutividade (µS/cm)	Condutância elétrica SMEWW 2510 B	Condutivímetro - DM 32 (Digimed)
Turbidez (NTU)	Nefelométrico SMEWW 2130 B	Turbidímetro - turbiquant 1000 IR (MERCK).
Série de Sólidos (mg/L)	Gravimétrico Adaptado do SMEWW 2540 - B, 2540 C, 2540 D.	Estufa Fanen e Mufla Quimis Q318M21
DQO (mg O ₂ /L)	Titulométrico (Digestão com K ₂ Cr ₂ O ₇) - SMEWW 5220 C	Temoreator de DQO para 8 tubos - ECO 8 (Velp)
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	Manométrico Adaptado do SMEWW 5210	

Estudos Preliminares do Lixiviado Coagulado Combinado com o Processo de Tratamento Adsorativo

Foi realizado um estudo preliminar para verificar se o adsorvente em estudo (pó da concha da ostra), apresentava características adsorativas para o lixiviado pré-tratado.

O lixiviado coagulado foi submetido ao processo de adsorção, onde se utilizou como adsorvente o pó da concha de ostra calcinada durante 3 horas a 1000 °C com granulometria de 60 mesh, pois inicialmente verificou-se que o pó da concha da ostra “in natura” não obteve boa remoção da cor do lixiviado.

Os ensaios foram realizados em batelada, em erlenmeyers de 125 mL, contendo 100 mL do lixiviado coagulado e diferentes massas do adsorvente em cada erlenmeyers (0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 7,5 e 10 g.). As amostras foram colocadas em um mesa agitadora de marca Quimis (Figura 2) sob agitação constante de 400 rpm por um período de 2 horas a uma temperatura ambiente. Ao término da agitação, as amostras foram filtradas em papel filtro de faixa azul. A leitura da cor final em cada amostra foi determinada através de um Espectrofotômetro - Spectroquant Nova 60 (MERCK), ilustrado na Figura 3.



Figura 2: Mesa agitadora com experimento em andamento.

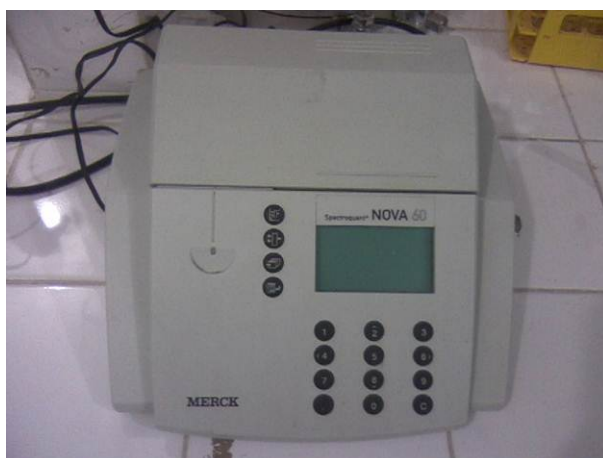


Figura 3: Espectrofotômetro - Spectroquant Nova 60 (MERCK).

Nos ensaios adsorativos foi necessário realizar a filtração da amostra após a adsorção para depois fazer a leitura do parâmetro estudado da mesma. No entanto, observou-se que os filtros podem adsorver o adsorvato e indicar falsos resultados. Por isso, foram realizados testes em duplicata para saber se o filtro iria influenciar. Foram preparadas amostras do lixiviado bruto e pré-tratado com o processo de coagulação/floculação/decantação, filtrado com o papel filtro azul e logo após realizado a leitura da cor (principal parâmetro estudado) e foi visto que não altera em nada nesta característica do lixiviado tanto bruto como coagulado.

Planejamento Fatorial dos Experimentos (Otimização)

Para aplicação do planejamento experimental é necessário que seja estabelecido níveis para as variáveis de entrada e que seja elaborada uma matriz de planejamento com as possíveis combinações desses níveis. Desta forma é possível identificar e quantificar, com base nos experimentos planejados, a influência das variáveis individuais e/ou combinadas sobre o processo de tratamento e de adsorção.

Planejamento experimental I – Otimização do adsorvente

Neste planejamento verificou-se o efeito das variáveis de tratamento do adsorvente: temperatura, tempo de calcinação e granulometria sobre capacidade adsorvente do pó de ostra.

Realizou-se um planejamento de 2^3 completo, acrescido de um ponto central. Todos os ensaios experimentais foram realizados em duplicata. Os níveis das variáveis estudadas neste planejamento encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Variáveis e níveis estudados no primeiro planejamento fatorial 2^3 .

Variáveis	Níveis		
	Mínimo (-1)	Central (0)	Máximo (+1)
Temperatura da mufla (°C)	500	750	1000
Tempo de calcinação (horas)	0,5	1,75	3
Faixa granulométrica (Mesh)	20	60	100

Os experimentos foram realizados aleatoriamente durante um tempo de 2h sob agitação constante e definida apartir dos testes preliminares realizados (300 rpm) em frascos de Erlenmeyers com o adsorvente já pesado (1g) mais 100 mL de lixiviado pré-tratado pelo processo de coagulação/floculação. A resposta estudada foi a capacidade adsorvente (q) da remoção da cor do lixiviado pré-tratado, ou seja, quantidade da cor do lixiviado adsorvido por unidade de massa do adsorvente (q_L).

Planejamento experimental II – Otimização do Processo Adsorvente

Para o segundo planejamento experimental foi investigado a influência das variáveis: a quantidade do adsorvente (M) e a velocidade de agitação (A). As conchas foram tratadas termicamente de acordo com o resultado obtido no planejamento fatorial I, bem como sua granulometria. Dessa forma foi realizado um planejamento fatorial 2^2 completo em duplicata, adicionado de 3 pontos centrais totalizando 7 experimentos. Os níveis das variáveis em estudo neste planejamento estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Variáveis e níveis estudados na otimização do processo adsorvente.

Variáveis	Níveis		
	Mínimo (-1)	Central (0)	Máximo (+1)
Massa (g)	1	2	3
Agitação (rpm)	200	250	300

As agitações mínima e máxima foram escolhidas devido à limitação da mesa agitadora utilizada, onde de acordo com os estudos preliminares foi identificado que agitações acima de 300 rpm deixam a mesa agitadora muito instável. As massas foram definidas no estudo preliminar.

Os experimentos foram submetidos a um tempo de agitação (tempo de contato) de 2 horas, em ordem aleatória e a resposta estudada foi a capacidade de adsorção de cor do lixiviado pré-tratado adsorvido por unidade de massa do adsorvente (q_L).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do Lixiviado

A amostra de lixiviado utilizada para caracterização foi coletada no mês de março de 2012, onde os resultados dessa caracterização são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado da caracterização do lixiviado do aterro da Muribeca-PE.

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores</i>
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	900,0
DQO (mg/L de O ₂)	2878,0
Condutividade (µS/cm)	19700,0
pH	8,7
OD (mg de O ₂ /L)	2,09
Cor (HZ-Hazen)	2196,0
Turbidez (NTU)	15,45
ST (mg/L)	8120,0
STV (mg/L)	58,0
STF (mg/L)	8062,0
SST (mg/L)	50,0
SSV (mg/L)	32,0
SSF (mg/L)	18,0
SDT (mg/L)	8070,0
SDV (mg/L)	26,0
SDF (mg/L)	8044,0

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). Em relação ao pH ele é ligeiramente alcalino, como mostrado na Tabela 4.

Em relação ao teor de sólidos totais, verificou-se que a quase totalidade deles (>99%) são inorgânicos (STF) e encontram-se dissolvidos (SDT). Ao se analisar os sólidos fixos, constatou-se também que 99,67% dos dissolvidos são inorgânicos, todavia para os sólidos suspensos há uma predominância de material orgânico (SSV).

O valor da DQO encontra-se dentro da faixa mais provável citada por Souto e Povinelli (2007), quando do estudo com dados da literatura referentes a 25 aterros localizados em nove estados no Brasil. Santana (2008) utilizou lixiviado da Muribeca e obteve valores em torno de 4000 mg/L O₂. Já Rocha (2005) obteve valores entre 1.558 e 10.097 mg/L de O₂.

A biodegradabilidade do lixiviado pode ser avaliada pela relação DBO₅/DQO. Este aterro apresentou valores médios entre 0,45 e 0,62 quando estava em operação. Atualmente este valor encontra-se em torno de 0,32, demonstrando assim que o processo físico-químico deve ser priorizado para o seu tratamento.

Pré-Tratamento

Após a caracterização do lixiviado, foi realizado seu pré-tratamento através do processo físico-químico de coagulação/floculação com cal, utilizando-se os parâmetros otimizados por Paulino (2011). A Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros do lixiviado após o seu pré-tratamento.

Tabela 5: Resultado da caracterização do lixiviado do aterro da Muribeca-PE pré-tratado pelo método de coagulação/floculação.

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores - lixiviado bruto</i>	<i>Valores - lixiviado pré-tratado pelo processo de coagulação/floculação</i>
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	900	300
DQO (mg/L de O ₂)	2878	2453
Condutividade (µS/cm)	19700	17030
pH	8,7	9,31
OD (mg de O ₂ /L)	2,09	3,75
Cor (HZ-Hazen)	2196	1824
Turbidez (NTU)	15,45	15,44
ST (mg/L)	8120	7246
STV (mg/L)	58	136
STF (mg/L)	8062	7110
SST (mg/L)	50	205,75
SSV (mg/L)	32	105,5
SSF (mg/L)	18	100,25
SDT (mg/L)	8070	7040,25
SDV (mg/L)	26	30,5
SDF (mg/L)	8044	7009,75

Podemos observa que ouve uma boa redução de poluentes com o pré-tratamento, a Tabela 6 mostra uma redução de 66,6% da DBO₅, 14,7% da DQO, 13,5% da condutividade, um aumento de 79,4% no Oxigênio Dissolvido (OD) e uma diminuição da cor em 16,9%, mas não foram suficientes, mostrando assim a necessidade de uma combinação de tratamento para o lixiviado.

Estudos Preliminares do Lixiviado Coagulado Combinado com o Processo Adsorativo

Na fase inicial desta combinação de tratamento, procurou-se observar a viabilidade do resíduo da ostreicultura (concha da ostra) como adsorvente, para isso testou-se a concha da ostra “in natura”, não obtendo bons resultados, então verificou-se o adsorvente calcinado a 1000 °C durante 3 horas com granulometria de 60 mesh.

É possível observar na Figura 4 que o adsorvente calcinado conseguiu alcançar bons resultados de redução de cor (acima de 75%) do lixiviado pré-tratado pelo processo de coagulação/floculação. Como era esperado, a maior eficiência de redução (valor mais baixo para a cor) foi obtido com a maior massa. Todavia, em estudos de adsorção busca-se otimizar o processo pela capacidade de adsorção, para tanto, adaptamos este conceito e formulou-se o conceito de capacidade de remoção de cor, expressa na Equação 1.

$$q = \frac{(C_i - C_f) v}{m} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: Ci=cor inicial (Hz); Cf = cor final (Hz), v = volume da solução (adsorvato + adsorvente) (L) e m= massa de adsorvente (g)

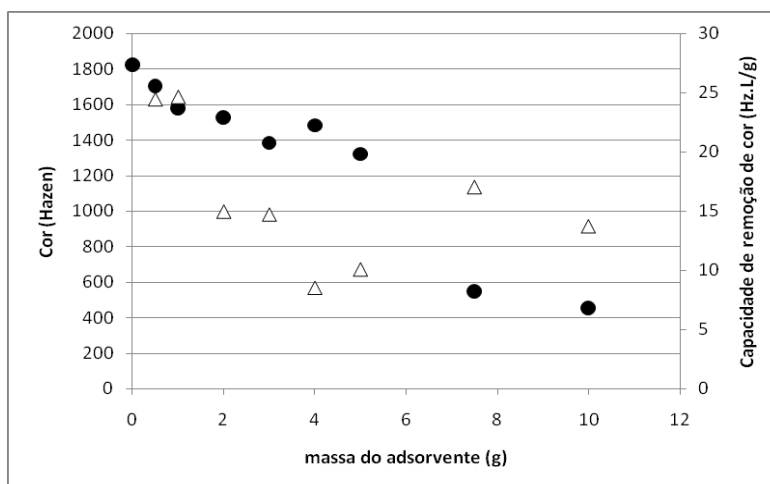


Figura 4: Variação da cor (●) e da capacidade de remoção de cor (Δ) do lixiviado coagulado combinado com o processo de adsorção com diferentes massas do pó calcinado. t=2 h, Agitação=400 rpm, Vol.= 0,1 L.

Desta forma, pode-se verificar, pela Figura 4, que com relação a capacidade de remoção de cor, os valores mais elevados estão até 3 g do adsorvente. Contudo quanto maior a quantidade do adsorvente maior é a remoção da cor. Então buscando-se otimizar o adsorvente, definiu-se para o planejamento experimental as massas de 1g (nível inferior) e 3g (nível superior). A Figura 5 apresenta o resultado do efluente após o ensaio de adsorção com diferentes massas do lixiviado coagulado.



Figura 5: lixiviado após o estudo preliminar com o adsorvente calcinado a 1000°C durante 3 horas com diferentes massas (0,5 a 10g) de adsorvente.

Após os resultados obtidos nesta etapa partiu-se para a otimização do processo adsorptivo através de planejamentos experimentais, bem como obter o estudo cinético e de equilíbrio.

Planejamento Fatorial dos Experimentos

A utilização do planejamento experimental fatorial teve como objetivo realizar um estudo mais abrangente das variáveis independentes, fazendo de maneira mais organizada uma quantidade mínima de experimentos.

Nos planejamentos experimentais, foi utilizado um tempo de 2 horas de adsorção, o mesmo valor utilizado nos estudos preliminares.

Planejamento Experimental I – Otimização do Tratamento do Adsorvente

Neste primeiro planejamento, foi possível analisar o melhor tratamento térmico para o adsorvente, analisando as variáveis temperatura e tempo de calcinação bem como a melhor granulometria para o adsorvente, no intuito de obter a máxima adsorção da cor do lixiviado pela concha da ostra.

A Tabela 6 apresenta a matriz de planejamento I com a média dos resultados obtidos da variável de resposta (cor) junto com a capacidade adsorptiva de cada ensaio. Os ensaios foram realizados em duplicata.

Tabela 6: Matriz de planejamento fatorial 2^3 do tratamento do adsorvente.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (h)	Faixa (mesh)	Cor (Hazen)	q (Hazen.L/g)
1	+	+	+	1640,5	18,35
2	+	+	-	1548,5	27,55
3	+	-	+	1515,5	30,85
4	+	-	-	1565,0	25,90
5	-	+	+	1717,5	10,65
6	-	+	-	1751,5	7,25
7	-	-	+	1767,0	5,70
8	-	-	-	1779,5	4,45
9	0	0	0	1762,0	6,20
10	0	0	0	1771,0	5,30
11	0	0	0	1766,0	5,80

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 (Figura 6), as barras (fatores) que graficamente ultrapassam a linha de significância exercem uma influência estatisticamente significativa sobre o resultado. Desta forma, foi possível observar que a única variável que influencia de forma significativa o tratamento do adsorvente foi a temperatura.

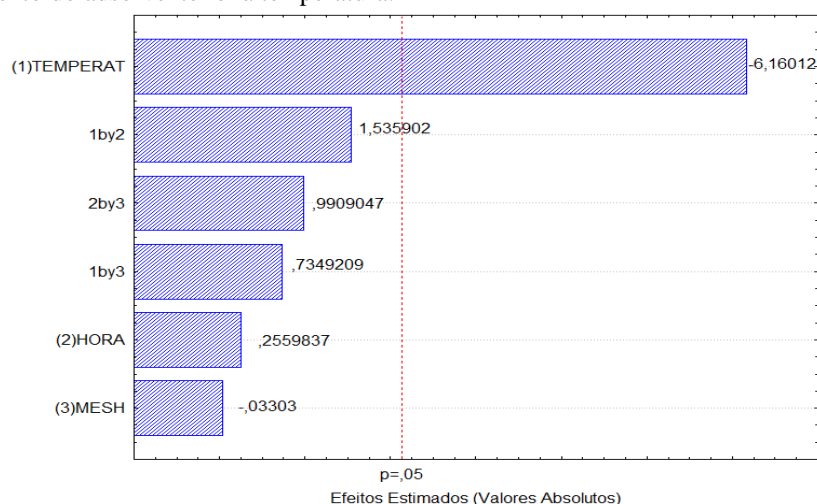


Figura 6: Gráfico de Pareto referente à análise dos fatores que mais influenciaram na otimização no adsorvente.

A Figura 7 apresenta a superfície de resposta construída com o auxílio do software Statistic 5.0. Pela inclinação da superfície de resposta em relação ao eixo da temperatura (Figura 10) pode-se constatar que a mesma exerce forte influência no processo a medida que houve um decréscimo do seu valor. Todavia, em relação à granulometria (mesh) as linhas estão praticamente paralelas ao seu eixo, indicando uma pouca significância deste efeito.

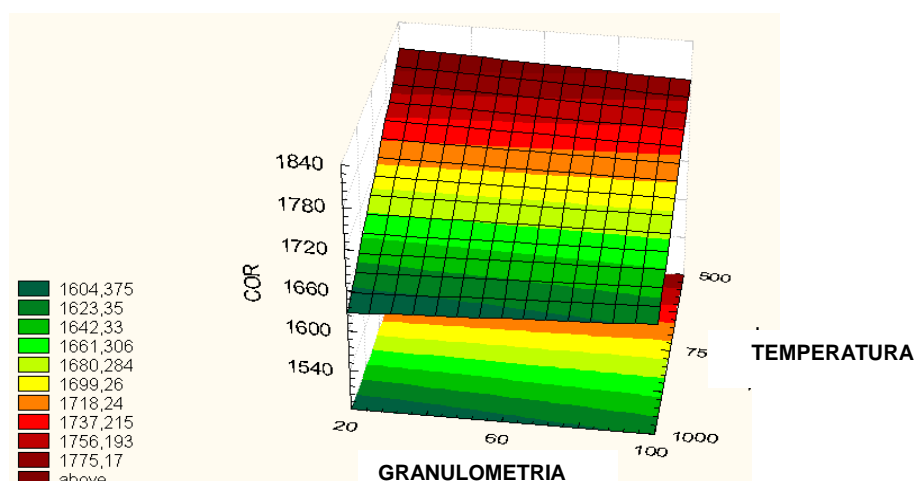


Figura 7: Superfície de resposta para a redução da cor do lixiviado pelas variáveis, granulometria e temperatura.

A partir dos resultados obtidos nesta etapa, os experimentos seguintes foram realizados, utilizando as conchas de ostra tratadas termicamente a 1000°C durante 0,5 horas (30 minutos), com granulometria de 100 mesh.

Planejamento Experimental II – Otimização do Processo Adsorptivo

Neste planejamento foi avaliado o efeito das variáveis massa e agitação no processo adsorptivo a fim de alcançar a otimização deste. Nos ensaios realizados neste planejamento utilizou-se o adsorvente obtido nas condições otimizadas no primeiro planejamento.

A Tabela 7 apresenta a matriz de planejamento com a média dos resultados obtidos da variável de resposta (cor) e a capacidade adsorptiva referente a cada ensaio na otimização do processo adsorptivo.

Tabela 7: Matriz de planejamento do processo adsorptivo para um fatorial 2².

Ensaio	Agitação (rpm)	Massa (g)	Cor (Hazen)	q (Hazen.L/g)
1	+	+	680,0	38,13
2	+	-	1532,5	29,15
3	-	+	1202,5	20,72
4	-	-	1465,0	35,90
5	0	0	1410,0	20,70
6	0	0	1411,0	20,65
7	0	0	1411,0	20,65

A Figura 8 apresenta o Gráfico de Pareto obtido a partir dos resultados apresentados na Tabela 7, segundo este gráfico, observa-se que as 2 variáveis de entrada e a interação entre elas apresentaram efeito significativo na remoção da cor, destacando-se a massa por apresentar uma influência maior.

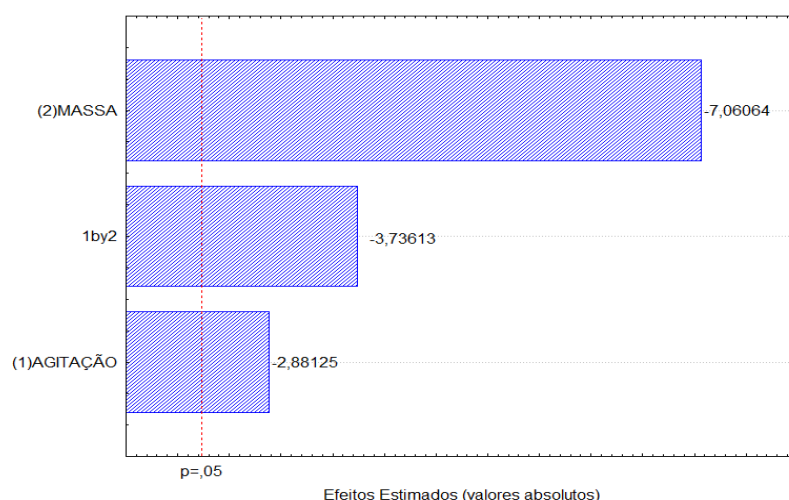


Figura 8: Gráfico de Pareto referente à análise dos fatores que mais influenciaram no processo adsorptivo.

Os valores obtidos na análise de variância (ANOVA) para o estudo do processo adsorptivo, ilustrados na Tabela 8, foram calculados mediante a utilização do programa Statistica® 5.0.

Tabela 8: Avaliação Estatística da Otimização do Processo Adsorptivo.

<i>Fonte de Variação</i>	<i>Soma Quadrática</i>	<i>Números de Graus de Liberdade</i>	<i>Média Quadrática</i>
Regressão	899175	3	299725
Resíduos	124690	10	12469
Falta de Ajuste	124642	1	124642
Erro Puro	48	9	5.33
Total	1023865	13	78758.8
F_{tabelado} REG	3.7083		
%Mx. Explicada	87.82		
%Mx. Explicável	99.99		
R²	0,878		
F_{calculado} • F_{tabelado}⁻¹			6,48

Uma análise de significância estatística dos valores observados na Tabela 8 é um fator importante, uma vez que os dados experimentais são utilizados para produzir um modelo empírico, através da regressão. O coeficiente de determinação $R^2=0,878$ 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 de 6,48, 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.*, 2001).

A Equação 2 representa o modelo empírico para o sistema experimental analisado através da regressão dos dados experimentais do processo adsorptivo com relação ao parâmetro resposta cor.

$$Cor = -113,74A - 278,75M - 147,50AxM \quad (Eq. 2)$$

na qual: A= agitação (rpm); M= massa do adsorvente utilizado (g); AxM= interação entre os dois parâmetros.

A Figura 9 apresenta a superfície de resposta obtida através do uso dos dados obtidos experimentalmente, após uma otimização por planejamento fatorial 2^2 . Percebe-se que os melhores valores encontrados para a variável resposta (remoção de cor) foram para os níveis superiores estudados.

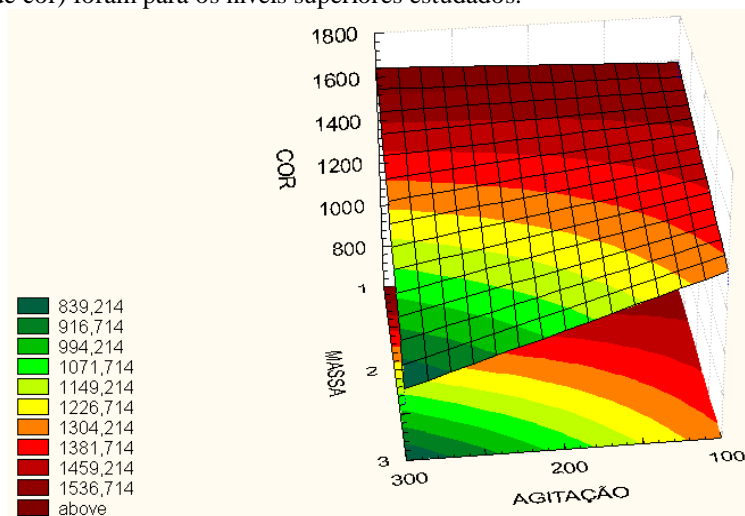


Figura 9: Superfície de resposta para a redução da cor do lixiviado pelas variáveis, massa e agitação.

Avaliação Geral do Processo

Com os resultados espera-se obter conhecimentos novos sobre o funcionamento do processo de coagulação/floculação, combinado ao de adsorção para degradação da matéria orgânica contida no lixiviado. A Tabela 9 mostra os resultados obtidos pela associação de tratamento composto pelos processos de coagulação/floculação e adsorção.

Tabela 9: Resultados obtidos no tratamento combinado do lixiviado.

Parâmetros	Lixiviado Bruto	Lixiviado pré-tratado pelo processo de coagulação/floculação	Lixiviado coagulado tratado pelo processo de adsorção
DBO (mg/L de O ₂)	900	300	50
DQO (mg/L de O ₂)	2878	2453	1762
Condutividade (μS/cm)	19700	17030	16822
pH	8,7	9,31	12,55
OD (mg de O ₂ /L)	2,09	3,75	5,48
Cor (HZ-Hazen)	2196	1824	680
Turbidez (NTU)	15,45	15,44	12,19
ST (mg/L)	8120	7246	7804
STV (mg/L)	58	136	1055
STF (mg/L)	8062	7110	6749
SST (mg/L)	50	205,75	79
SSV (mg/L)	32	105,5	55
SSF (mg/L)	18	100,25	24
SDT (mg/L)	8070	7040,25	7725
SDV (mg/L)	26	30,5	1000
SDF (mg/L)	8044	7009,75	6725

Fazendo uso dos resultados apresentados, no geral a combinação dos processos de tratamento em questão foi bastante eficiente em diversos aspectos, obtendo uma redução de aproximadamente 95% da DBO, 40% da DQO, 70% da cor do lixiviado, 21% da turbidez, em relação aos sólidos, após a combinação de tratamento verificou-se que cerca de 86% são de origem inorgânica (sólidos fixos), no qual antes do tratamento esta porcentagem era de 99%, o oxigênio dissolvido mostrou uma melhora de 2,6 vezes a mais após o tratamento, este parâmetro é essencial para o metabolismo aeróbico dos organismos aquáticos e afeta fortemente a solubilidade de muitos nutrientes inorgânicos, mostrando portanto que, na técnica de adsorção, as conchas da ostra são bons adsorventes para redução dos poluentes potenciais em especial a cor do lixiviado, diminuindo assim as substâncias recalcitrantes.

Em comparação com outros tratamentos alcançados para lixiviados temos que, em trabalhos realizados por Aragão (2009) foi avaliado a eficiência do processo de coagulação/floculação seguido do processo de oxidação avançada com reagente de Fenton na degradação do lixiviado produzido pelo lixão da “Terra Dura” de Aracaju-SE, no qual foi obtida uma redução de 61,5% de sua cor e Rodrigues Filho (2008) utilizando um processo de oxidação avançada por foto-fenton no lixiviado do aterro sanitário do Cachimba da região metropolitana de Curitiba-PR obteve 59% de redução da cor. Tendo em vista estas pesquisas citadas e os resultados obtidos neste trabalho, pode-se afirmar que esta combinação de tratamento é bastante eficiente na remoção das substâncias recalcitrantes (cor do lixiviado) e em diversos fatores tais como: custo, simplicidade no processo, melhores resultados na diminuição dos poluentes potenciais e utilização de resíduos descartados (conchas de ostra) como adsorventes.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos na combinação de tratamento para lixiviado do aterro da Muribeca apresentado neste trabalho, verificou-se que:

Através de um planejamento experimental fatorial as conchas de ostra (resíduo da ostreicultura) mostraram-se que, após pulverizadas a uma granulometria de 100 mesh e ativadas termicamente a 1000 °C, durante 30 minutos, apresentaram uma boa capacidade em adsorver as substâncias recalcitrantes (cor do lixiviado). Esta ativação resultou em um aumento de aproximadamente, 50% na sua área superficial e 74% no seu volume de poros, mostrando assim o motivo de sua alta capacidade adsorptiva após a realização do tratamento térmico.

Ainda fazendo uso do planejamento experimental para otimização do processo adsorptivo conclui-se que as melhores relações da cor do lixiviado e capacidade de adsorção do adsorvente são, a granulometria e ativação térmica das conchas da ostra ditas anteriormente, a quantidade do adsorvente de 3 g e velocidade de agitação de 300 rpm.

Com a combinação dos processos de coagulação/floculação e adsorção, a eficiência máxima de remoção não só da cor do lixiviado (principal parâmetro estudado) mais também de parâmetros importantes na poluição dos corpos de água no lançamento deste efluente, foram bastante significativas, conseguindo remoção de aproximadamente 70% da cor do lixiviado, 95% da DBO, 40% da DQO, 21% da turbidez, em relação aos sólidos houve uma redução de 16% dos sólidos totais fixos (origem inorgânica) e um melhora no oxigênio dissolvido de 2,6 vezes a mais, obtendo um valor de 5,48 mg de O₂/L, indicando uma intensa afinidade do adsorvente (conchas de ostra) com o lixiviado.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, a CAPES e a FACEPE pelo apoio financeiro e pelas bolsas, PROPESQ-UFPE pela ajuda na infraestrutura laboratorial e apoio financeiro, a FINEP/MCT pelo apoio à rede de lixiviados (Projeto TRATALIX), ao CETENE pela infraestrutura para caracterização dos materiais (Projeto CETENE-FACEPE-UFPE).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AWWA – WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18 th edition. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, D.C. 1995.
2. BARROS NETO, B., SCARMINIO, J.S., BURNS, R.R. – Planejamento e otimização de experimentos. Campinas editora. São Paulo. 2001.
3. CECCONELLO, C.M. Pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos utilizando leitos cultivados. Passo fundo-RS, 2005. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo. 149 p. 2005.
4. IUPAC Recommendations. Pure and Applied. Chemistry. v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.
5. JUCÁ, J.F.T. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. In: 5º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental – REGEO 2003, Porto Alegre-RS, 2003.
6. KARGI, F.; PAMUKOGLU, M. Y. *Repeated fed-batch biological treatment of pre-treated landfill leachate by powdered activated carbon addition*. Enzyme and Microbial Technology. v. 34, p. 422–428, 2004.
7. LINS, E.A.M ; SILVA, F.M.S. ; FIRMO, A.L.B. ; LINS, C.M.M. ; ALVES, I.R.F.S. Utilização do hidróxido de cálcio como pré-tratamento do lixiviado da estação de tratamento do Aterro da Muribeca - PE. In: *VI Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO 2007 e o V Simpósio Brasileiro de Geossintéticos - Geossintéticos 2007*, Recife-PE. 2007.
8. PAULINO, P. M. de S. Avaliação do processo de coagulação/floculação seguido de radiação gama para tratamento de lixiviados. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife-PE. .2011.
9. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. Journal of Hazardous Materials. 2007.
10. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G; POULAIN, S. et al. *Landfill leachae tretatment: Review and opportunity* – France. Journal of Hazaedous Materials. v.150. p. 468-493. 2008.
11. ROCHA, E.M.R. Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização na redução da carga organica do percolado gerado no aterro da Muribeca (PE). Dissertação de Mestrado - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 151 p, 2005.
12. SANTANA-SILVA, F. M. *Avaliação do método de precipitação química associado ao stripping de amônia no tratamento do lixiviado do aterro de Muribeca-PE*. Recife-PE. Dissertação de mestrado. UFPE- Universidade Federal de Pernambuco, 117p. 2008.
13. SOLTO, G. D. B., POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24, 2007, Belo Horizonte, MG. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2007.