

### III-441 – PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATRAVÉS DA ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO GRANULAR

**Flávia Kawahigashi**

Química pela Universidade Estadual de Londrina – UEL. Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento pela mesma instituição.

**Cristiane Silveira**

Tecnóloga em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento na Universidade Estadual de Londrina.

**Leandro Jorge Ricaneli**

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL

**Marcos Batista Mendes**

Graduando em Química – Bacharelado pela Universidade Estadual de Londrina – UEL

**Emília Kiyomi Kuroda<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo – EESC-USP. Mestre e doutora em Hidráulica e Saneamento pela mesma instituição. Pós-doutora pela Meijo University, Japão. Docente do Departamento de Construção Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina - CTU - UEL

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Estadual de Londrina - UEL. Rodovia Celso Garcia Cid PR 445 Km 380 Campus Universitário. Cx Postal 6001 – CEP: 86051-980. Londrina-PR - Brasil - Tel: (43)3371-4815 - E-mail: ekkuroda@uel.br

#### RESUMO

A degradação biológica dos resíduos sólidos dispostos em aterros sanitários gera um subproduto altamente poluidor, denominado lixiviado. Atualmente, várias técnicas para o tratamento do lixiviado têm sido investigadas, visando seu lançamento em corpos receptores. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência e a aplicabilidade da adsorção em filtros de carvão ativado granular, visando a remoção de cor. Foram utilizados 6 tipos de carvão ativado granular disponíveis comercialmente por diferentes fabricantes brasileiros, utilizando filtros de carvão ativado granular em escala de bancada e escoamento contínuo, com coleta de amostras na saída dos filtros em intervalos de tempos pré-determinados para avaliação de cor aparente, cor verdadeira e DQO. Os resultados mostraram que dentre os carvões testados, o do FCAG3, proveniente do encodarpo do côco, foi o mais eficiente, apresentando valores de eficiência de remoção de cor aparente e DQO entre 83,6 a 100 % e 84,2 a 88,0%, respectivamente. O sistema de adsorção com emprego de filtros de carvão ativado granular em escala de bancada e escoamento contínuo mostrou-se adequado para seleção do carvão ativado granular mais eficiente para remoção de cor aparente, cor verdadeira e DQO correlacionadas à matéria orgânica presente em lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos domiciliares. Dessa forma a adsorção em carvão ativado granular é uma alternativa promissora para o pós-tratamento de lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos domiciliares, uma vez que foi eficiente na remoção de cor aparente, cor verdadeira e DQO correlacionada à matéria orgânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixiviado, carvão ativado granular, pós-tratamento, cor aparente, DQO.

#### INTRODUÇÃO

No Brasil dentre as alternativas tecnológicas para disposição de resíduos sólidos, o aterro sanitário é uma das mais utilizadas, principalmente devido ao seu baixo custo. Porém, no aterro sanitário o processo de decomposição biológica dos resíduos combinado com a umidade natural destes e água da chuva, geram um subproduto altamente poluidor, denominado lixiviado ou percolato/chorume.

A presença de poluentes no lixiviado impõe a necessidade de um tratamento adequado que remova significativamente frações dissolvidas de matéria orgânica e nitrogênio amoniacal, antes de seu lançamento no corpo receptor. Sabe-se que no Brasil a forma de tratamento mais comum de lixiviado é de natureza biológica, porém, segundo Gomes (2009) os processos biológicos não são suficientes no tratamento de grande parte dos

lixiviados de aterros que apresentam grande quantidade de compostos recalcitrantes, demandando a associação de processos físico-químicos como pré ou pós-tratamento visando o atendimento às legislações vigentes.

O processo biológico por lodo ativado seguido de tratamento físico-químico composto por coagulação-floculação-sedimentação é eficiente no tratamento de lixiviado, removendo significativamente a matéria biodegradável, cor e parte da DQO (FELICI, 2010). Porém, segundo Marchetto e Filho (2005), a coagulação possui maior efetividade na remoção de compostos com maior peso molecular, podendo não remover compostos com peso molecular reduzido, os quais podem ser adsorvidos em carvão ativado, por exemplo.

O carvão ativado é um tipo comum de adsorvente, de custo relativamente reduzido e que tem grande afinidade com compostos orgânicos dissolvidos (OLIVEIRA *et al.*, 2004). É um material carbonáceo, caracterizado por possuir área superficial interna elevada e porosidade altamente desenvolvida (COUTINHO *et al.*, 2000), facilitando a adsorção de moléculas tanto em fase líquida como gasosa.

A adsorção em carvão ativado de um composto é resultado de uma complexa inter-relação que depende tanto das propriedades do adsorvato e do adsorvente, como dos fatores externos. A capacidade adsorptiva de um carvão está relacionada tanto a fatores intrínsecos do adsorvente, tais como a estrutura interna, forma, volume e distribuição dos poros, química da superfície, modo de ativação do material, teor de cinzas, quanto às condições experimentais, tais como pH, tempo de contato entre adsorvato e adsorvente, particularidades do efluente, entre outros fatores que podem dificultar ou favorecer o processo de adsorção (KURODA *et al.*, 2005; BRINQUES, 2005).

O carvão ativado é tradicionalmente utilizado no tratamento de águas para abastecimento e águas residuárias, e atualmente também vem sendo empregado na remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos de lixiviados, devido à grande área de superfície, estruturas dos microporos e alta capacidade de adsorção e reatividade (KURNIAWAN *et al.*, 2006).

Dentro desse contexto, o presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar a eficiência da adsorção em carvão ativado granular como alternativa para o pós-tratamento de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos, tratado previamente por *air stripping* e lodo ativado seguido de coagulação-floculação-sedimentação, visando remoção de matéria orgânica correlacionada à cor aparente e verdadeira e DQO.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos – RSU

O lixiviado em estudo foi proveniente do aterro controlado de resíduos sólidos urbanos – RSU da cidade de Londrina - PR, que esteve em operação por aproximadamente 30 anos até a sua desativação em 2010. Como consequência, o lixiviado resultante do processo de degradação caracteriza-se pela sua recalcitrância, apresentando baixa relação DBO/DQO, elevada cor e DQO e alta concentração de nitrogênio.

O lixiviado utilizado nos experimentos foi tratado previamente por processos de *air stripping* e lodo ativado para nitrificação e desnitrificação via curta por Felici (2010) e, em seguida, foi submetido ao tratamento em escala de bancada por processo físico-químico composto pelas etapas de coagulação-floculação-sedimentação, utilizando cloreto férrico como coagulante químico, e em seguida, submetido à adsorção em filtros de carvão ativado granular como pós-tratamento. A Tabela 1 apresenta as características do lixiviado bruto, tratado por processo biológico e físico-químico por coagulação-floculação-sedimentação.

**Tabela 1 - Valor médio das características do lixiviado do aterro controlado de resíduos sólidos de Londrina (PR) e após tratamento biológico e físico-químico / FONTE: FELICI (2010)**

| PARÂMETRO  | LIXIVIADO BRUTO | LIXIVIADO TRATADO BIOLÓGICO | LIXIVIADO TRATADO FÍSICO-QUÍMICO |
|--|-----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| pH   | 8,45            | 9,05                        | ---                              |
| Alcalinidade (mg $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )     | 6097            | 2661                        | ---                              |
| Oxigênio Dissolvido (mg $\text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ ) | 0,52            | 0,72                        | ---                              |
| Cor verdadeira (uH)  | 5110            | 5041                        | 96                               |
| Cor aparente (uH)  | 6023            | 5624                        | ---                              |
| DBO (mg $\text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ )                 | 159             | 26                          | ---                              |
| DQO (mg $\text{L}^{-1}$ )                                  | 2973            | 2264                        | 433                              |
| DBO/DQO  | 0,05            | ---                         | ---                              |
| N-amoniaco (mg $\text{N-NH}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )       | 1040            | 15                          | ---                              |
| NKT (mg $\text{N-NH}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )              | 1135            | 97                          | ---                              |
| Nitrito (mg $\text{N-NH}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )          | 0,2             | 1,4                         | ---                              |
| Nitrato (mg $\text{N-NH}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )          | 3,1             | 12,3                        | ---                              |
| Sólidos totais (mg $\text{L}^{-1}$ )                       | 7203            | 9669                        | ---                              |

### Carvões ativados Granulares

No experimento foram utilizados 6 tipos de carvão ativado granular - CAG, disponíveis comercialmente por diferentes fabricantes brasileiros, relacionados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Matéria-prima proveniente dos FCAG**

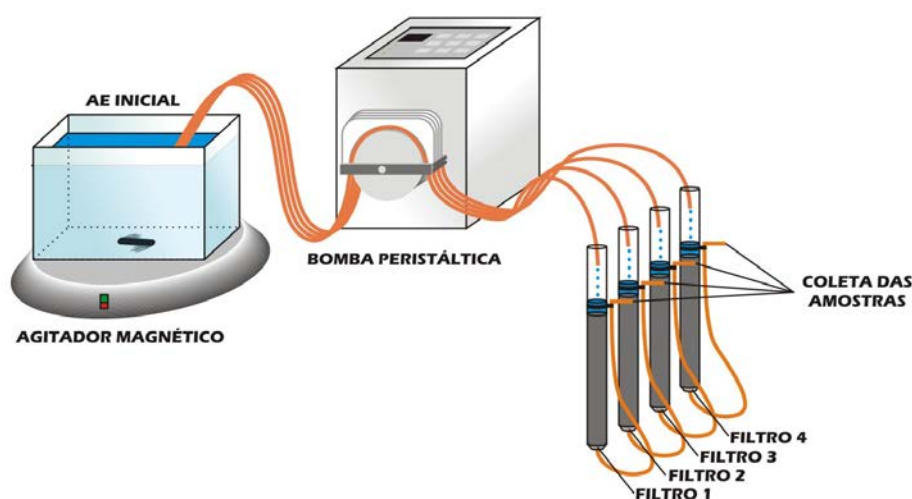
| FILTRO DE CAG | MATÉRIA-PRIMA     |
|---------------|-------------------|
| FCAG1         | Endocarpo do côco |
| FCAG2         | Endocarpo do côco |
| FCAG3         | Endocarpo do Côco |
| FCAG4         | Osso              |
| FCAG5         | Endocarpo do Côco |
| FCAG6         | Endocarpo do Côco |

### Experimentos de Adsorção em Filtros de Carvão Ativado Granular - FCAGs

O esquema do sistema utilizado para o experimento de adsorção em filtros de carvão ativado granular em escala de bancada é apresentado na Figura 1 e foi composto por:

- Um béquer com capacidade volumétrica de 2L para acondicionamento do lixiviado de estudo disposto sob um agitador magnético para manter a homogeneidade do mesmo durante todo o tempo de experimento;
- Uma bomba peristáltica de 12 canais para alimentação simultânea e independente dos 6 filtros de carvão ativado granular - FCAGs por meio de mangueiras (tygon, com diâmetro interno - DI de 1,14 mm);
- Filtros de carvão ativado granular – FCAGs cada qual contendo corpo em acrílico transparente de 18 mm de diâmetro, 40 cm de altura e areia aderida na parede interna, de modo a evitar formação de correntes preferenciais durante o processo de filtração. A cota de saída do efluente filtrado foi posicionada, aproximadamente 1 cm acima do topo da camada de carvão ativado granular com espessura de 9 cm.

A bomba peristáltica foi previamente regulada para conduzir simultaneamente, uma vazão constante de  $0,79 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$  para o topo de cada um dos FCAG, resultando em tempo de contato de 20 minutos. Foram realizadas coletas de aproximadamente 50 mL dos efluentes, com o objetivo de avaliar a remoção de core DQO, as quais foram realizadas segundo os métodos descritos em APHA, AWWA, WEF (2005).



**Figura 1 – Esquema do sistema de adsorção em FCAGs em escala de bancada e escoamento contínuo**

Para avaliar a eficiência da adsorção em carvão ativado granular, considerando condições variadas de qualidade do lixiviado tratado físico-químico, foram realizados dois experimentos em escala de bancada e escoamento contínuo, a Tabela 3 mostra as características dos lixiviados utilizados.

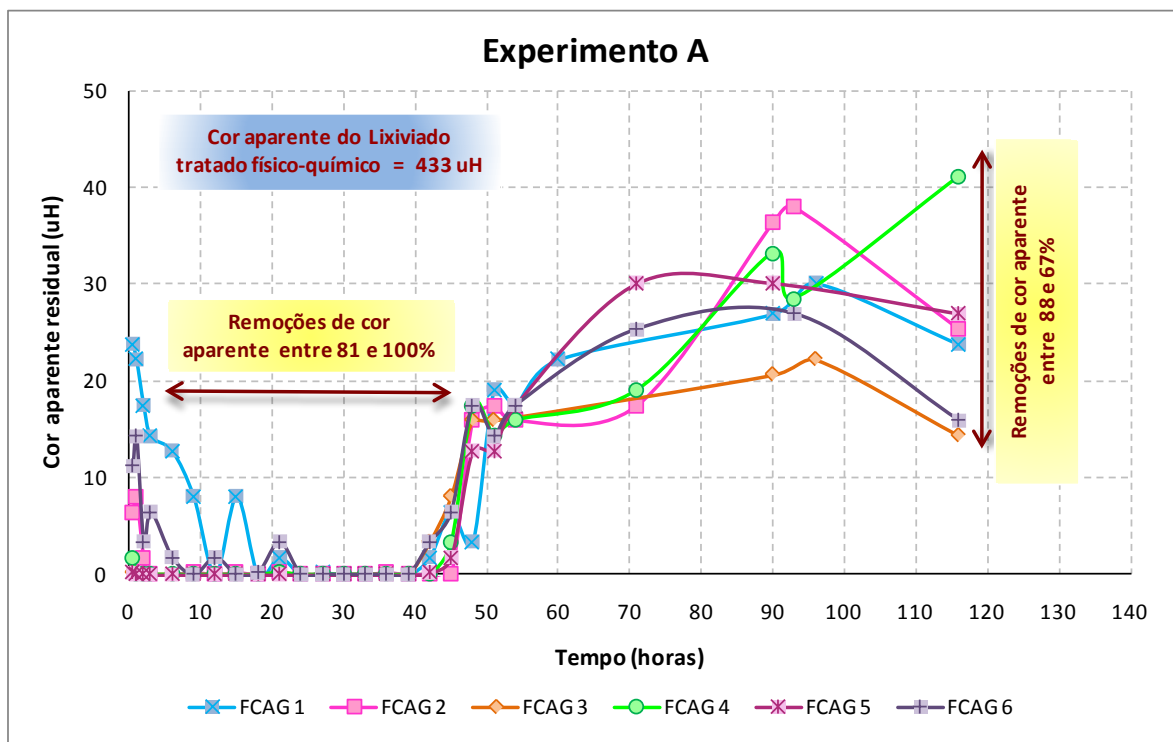
**Tabela 3 – Características físico-químicas dos lixiviados utilizados nos Experimentos A e B**

| PARÂMETRO                             | LIXIVIADO - EXPERIMENTO A | LIXIVIADO - EXPERIMENTO B |
|---------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| pH                                    | 3,63                      | 4,17                      |
| Condutividade ( $\text{mS.cm}^{-1}$ ) | 2,31                      | 5,08                      |
| Cor aparente (uH)                     | 126                       | 433                       |
| Cor verdadeira (uH)                   | 118                       | 74                        |
| DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )            | --                        | 444,2                     |

Com o carvão que apresentou a melhor capacidade de adsorção foi feita a sua caracterização, através do cálculo do número de iodo e o índice de azul de metileno, de acordo com a norma JIS-K 1474, 1991. Os índices de iodo e azul de metileno foram determinados pelo ajuste à equação de Freundlinch. O número de iodo é definido como a quantidade de iodo adsorvido em mg por g de carvão quando a concentração residual total é de  $2,5 \text{ g.L}^{-1}$  e da mesma forma, o índice de azul de metileno refere-se à concentração residual do composto de  $0,24 \text{ mg.L}^{-1}$ . As concentrações residuais das soluções de iodo e de azul de metileno foram determinadas por titulação volumétrica com tiosulfato de sódio e por espectrofotometria no comprimento de onda de 665 nm, respectivamente. Esses experimentos foram realizados em duplicata.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

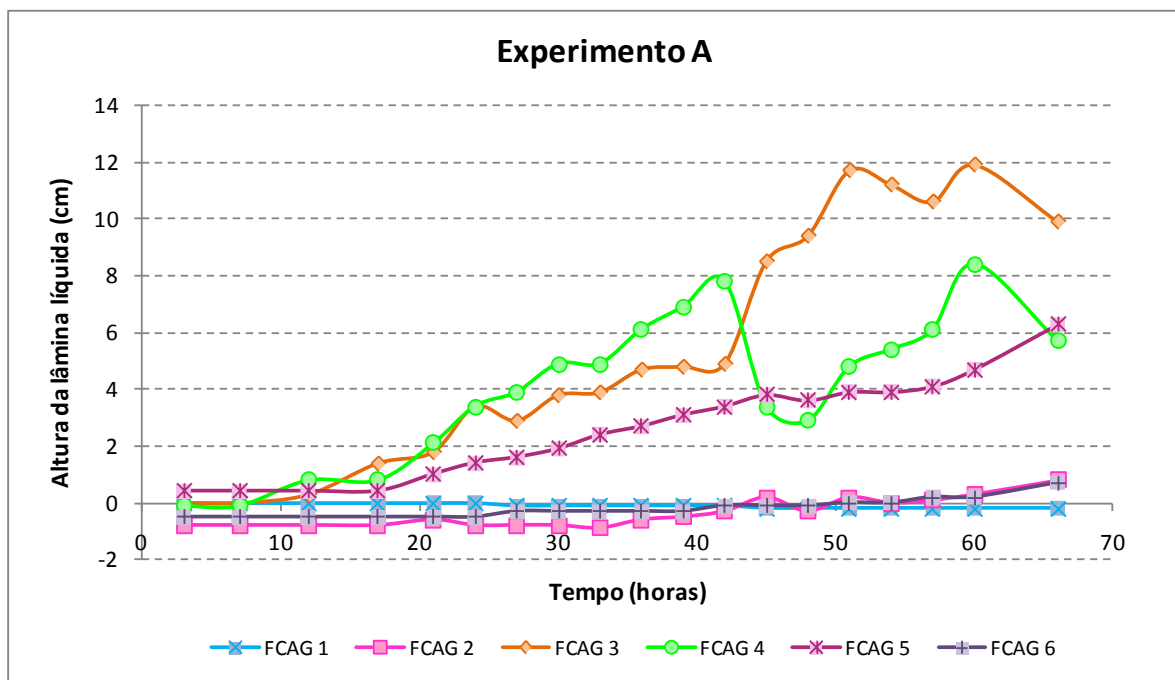
Os resultados de cor aparente do Experimento A de adsorção são apresentados na Figura 2. Vale ressaltar que a presença de flocos residuais do tratamento físico-químico no sobrenadante interferiu significativamente no comportamento do filtro, especialmente em termos de perda de carga no meio granular. A Figura 3 ilustra a perda de carga ao longo do experimento dos FCAGs.



**Figura 2 – Resultados de cor aparente para os FCAGs 1-6 em função do tempo / Experimento A**

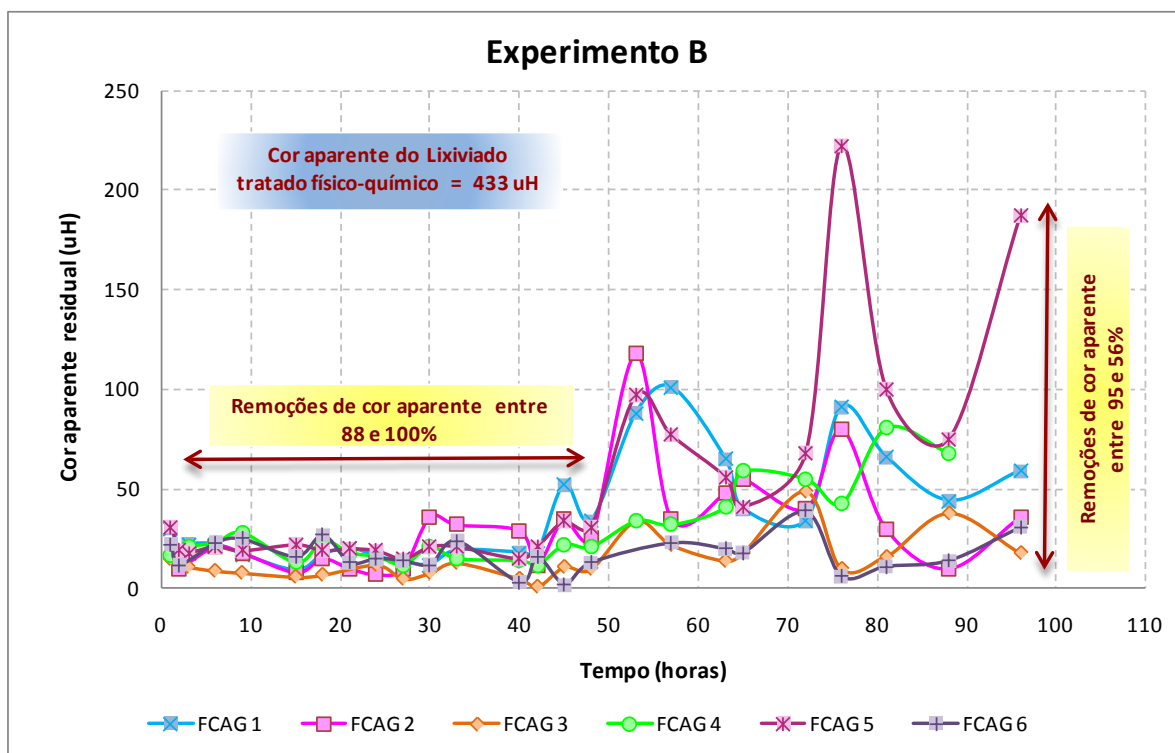
Em relação ao Experimento A, para o lixiviado tratado por processo biológico seguido do tratamento físico-químico de coagulação química-floculação-sedimentação utilizando o cloreto férrico como coagulante, com valores de cor aparente e cor verdadeira de 126 e 118 uH, respectivamente, pôde-se observar que:

- Com exceção do FCAG1, até aproximadamente 42 horas de operação, os FCAGs não apresentaram diferenças significativas na remoção de cor aparente, tendo variado entre 81 e 100%. Embora vários filtros tenham sido produzidos do mesmo tipo de matéria-prima - endocarpo do côco, o FCAG1 apresentou eficiências limitadas em relação à adsorção de matéria orgânica, mesmo até 42h de operação.
- Entre 42 e 52 horas de operação, a capacidade de adsorção dos FCAGs é reduzida da ordem de 15% e segue perdendo eficiência de forma gradativa até 116 h, com remoções que variaram entre 67 e 88% para os filtros menos – FCAG4 e mais – FCAG3 eficiente, respectivamente.
- Pela Figura 3, pôde-se observar que em relação a perda de carga no meio granular dos filtros de carvão, o FCAG3 apresentou maior perda de carga, chegando a atingir cerca de 10 cm após 66 horas de operação, enquanto nos demais filtros, a perda de carga máxima foi da ordem de 6 cm. Assim, o sistema de adsorção com emprego de filtros de carvão ativado granular, em escala de bancada e escoamento contínuo, mostrou-se adequado por possibilitar a obtenção de parâmetros a serem empregados no dimensionamento desses sistemas visando sua aplicação em escala real.

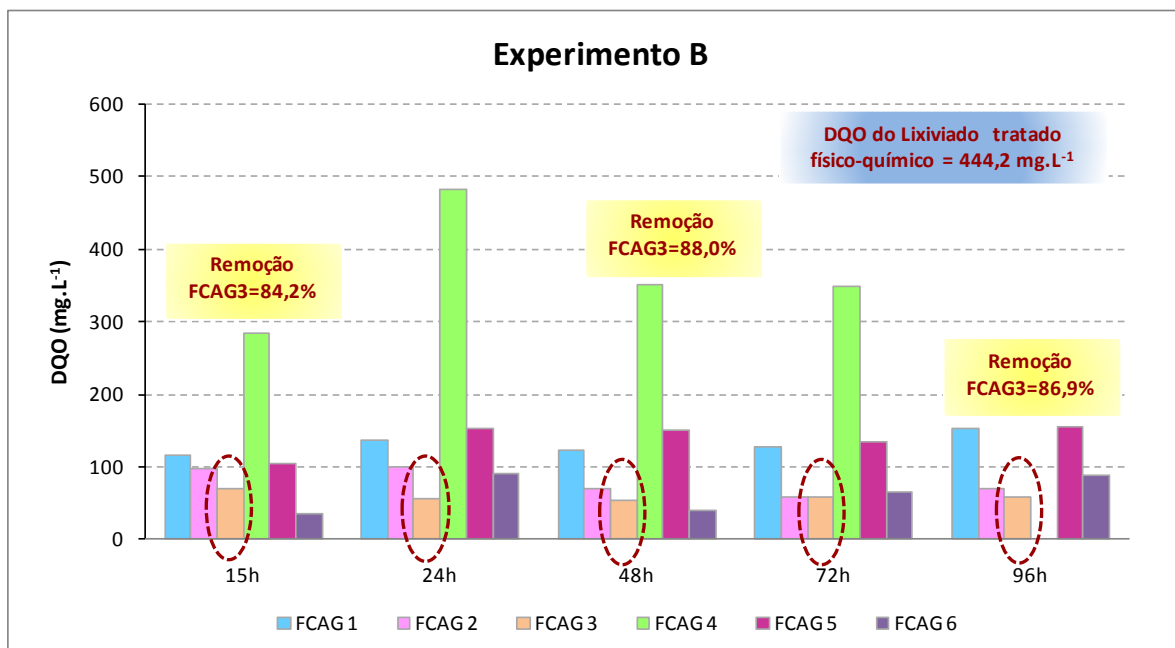


**Figura 3 – Perda de carga dos FCAG 1-6 ao longo do experimento / Experimento A**

Os resultados de cor aparente e DQO dos efluentes dos FCAGs 1-6 do Experimento B são apresentados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.



**Figura 4 – Resultados de cor aparente para os FCAGs 1-6 em função do tempo / Experimento B**



**Figura 5 – Resultados de DQO para os FCAGs 1-6 em função do tempo / Experimento B**

Em relação ao Experimento B, para o lixiviado tratado por processo biológico seguido do tratamento físico-químico de coagulação química-floculação-sedimentação utilizando o cloreto férrico como coagulante, com valores de cor aparente e cor verdadeira de 433 e 74 uH, respectivamente, e DQO de 444,2 mg.L<sup>-1</sup>, pôde-se observar que:

- Conforme também observado no Experimento A, apesar do lixiviado empregado apresentar cor aparente mais elevada, pôde-se constatar a ocorrência de uma fase de maior eficiência de adsorção dos FCAGs 1 a 6 até aproximadamente 48 horas de operação na qual os valores de eficiência de remoção de cor aparente variaram entre 88 e 100%;
- A partir de 48 horas de operação, todos os FCAGs apresentaram oscilações dos valores de cor aparente residual devido ao desprendimento de flocos pelo incremento da perda de carga no meio granular, o que acarretou a redução dos valores de eficiência, que variaram entre 56 e 95%;
- Dentre os FCAGs testados o FCAG3 foi o que apresentou melhor desempenho em relação à remoção de cor aparente e DQO tendo produzido efluentes com valores máximos de cor aparente de 49 uH e de DQO de 70 mg.L<sup>-1</sup> ao longo de 96 h. Vale ressaltar que a Resolução 357/05 do Conama que estabelece no art. 14 os padrões de qualidade de água limita o valor de cor verdadeira em 75 uH para corpos hídricos Classe I e II. Além disso, a Resolução estabelecida pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP SEMA/07 estabelece o limite de DQO de 125 mg.L<sup>-1</sup>. Assim, pode-se constatar que o efluente produzido pelo FCAG3 atendeu sistematicamente a essas legislações em relação a esses parâmetros;
- Para o FCAG3, os valores de eficiência de remoção de cor aparente e DQO variaram entre 88,7 a 99,8 % e 84,2 a 88,0%, respectivamente.

Os resultados obtidos na determinação do número de iodo e do índice de azul de metileno do carvão mais eficiente nos Experimentos A e B - FCAG3 são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4 - Parâmetros obtidos pelas isotermais de adsorção de iodo e de azul de metileno**

| CARVÃO ATIVADO | MATÉRIA-PRIMA  | NÚMERO DE IODO - NI            |       |      | ÍNDICE DE AZUL DE METILENO - IAM |      |      |
|----------------|----------------|--------------------------------|-------|------|----------------------------------|------|------|
|                |                | NI q <sub>e</sub> médio (mg/g) | Kf    | 1/n  | IAM q <sub>e</sub> médio (mg/g)  | Kf   | 1/n  |
| FCAG3          | Endocarpo côco | 844,77±2,17                    | 693,3 | 0,22 | 80,82±2,24                       | 85,6 | 0,05 |

\*Kf e n: Constantes empíricas



Vale ressaltar que o número de iodo está relacionado à microporosidade do carvão ativado, uma vez que requer poros com abertura inferior a 1 nm para ser adsorvida (EL-HENDAWY et al., 2001), já as moléculas de azul de metileno requer para ser adsorvida poros com abertura próxima a 2 nm (WASHURST et al., 1997). Comparando-se os valores de número de iodo e de azul de metileno encontrados para o CAG3 com dados reportados da literatura, pode-se verificar o predomínio de microporos no carvão amostrado em comparação com os mesoporos.

Os valores da área da superfície específica e os volumes de microporos e de mesoporos do melhor carvão (CAG3) comprovam os resultados dos número de iodo e de azul de metileno e são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 - Área da Superfície Específica BET-N2 e distribuição de poros do carvão selecionado**

| Carvão ativado | Área da Superfície Específica BET-N2 (m <sup>2</sup> /g) | Volume microporos 1 <sup>ários</sup> (cm <sup>3</sup> /g) | Volume microporos 2 <sup>ários</sup> (cm <sup>3</sup> /g) | Volume microporos (cm <sup>3</sup> /g) | Volume mesoporos (cm <sup>3</sup> /g) | Volume total poros (cm <sup>3</sup> /g) |
|----------------|--|---|---|--|---------------------------------------|---|
| CAG3           | 789,55   | 0,14  | 0,30  | 0,44                                   | 0,04                                  | 0,48                                    |

## CONCLUSÕES

O sistema de adsorção com emprego de filtros de carvão ativado granular em escala de bancada e escoamento contínuo mostrou-se adequado para seleção do carvão ativado granular mais eficiente para remoção de cor aparente e verdadeira e DQO correlacionada à matéria orgânica presente em lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos domiciliares.

Nos Experimentos A e B, dentre os 6 carvões testados, o CAG3 proveniente do endocarpo do côco, mostrou-se o mais eficiente durante o processo de operação, apresentando valores de eficiência de remoção de cor aparente e DQO entre 83,6 a 100 % e 84,2 a 88,0%, respectivamente;

A adsorção em carvão ativado granular é uma alternativa promissora para o pós-tratamento de lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos domiciliares, uma vez que foi eficiente na remoção de cor aparente, cor verdadeira e DQO correlacionada à matéria orgânica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) e Water Environment Federation (WEF). 21ª Edição.
2. BRASIL (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005.
3. BRINQUES, G.B. Adsorção de Tolueno de Solução Aquosa em Leito de Carvão Ativado em Planta piloto. Dissertação de Mestrado apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.
4. COUTINHO, A.R.; BARBIERI, F.C.; PAVANI, P.A. Preparação de Carvões Ativados a Partir de Fibras de Celulose. In: 2º Encontro Brasileiro de Adsorção. Maio de 1998, Florianópolis, Santa Catarina. Anais de trabalhos apresentados, Leonel T. Pinto (editor), p.139-144, Universidade de Santa Catarina, SC, Brasil, 2000.
5. EL-HENDAWY, A.N.A.; SAMRA, S.E.; GIRGIS, B.S. Adsorption Characteristics of Activated Carbons Obtained From Corncoobs. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Vol. 180, p.209-221, 2011
6. FELICI, E.M. Coagulação-floculação-sedimentação como Pós-tratamento de Efluente de Sistema Biológico em Batelada Aplicado a Lixiviado de Aterro de Resíduos Sólidos Urbanos. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento da Universidade Estadual de Londrina, 2010.
7. GOMES, L.P. (coord) Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
8. KURODA, E.K.; JÚNIOR, E.C.A.; DI BERNARDO, L.; TROFINO, J.C. Caracterização e Escolha do Tipo de Carvão Ativado a ser Empregado no Tratamento de Águas Contendo Microcistina. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.



9. KURNIAWAN, T.A.; CHAN, G.Y.S.; LO, W. BABEL. Physico-chemical Treatment Techniques for Wastewater Laden With Heavy Metals. Chemical Engineering Journal 118, 2006.
10. MARCHETTO, M.; FILHO, S.S.F. Interferência do Processo de Coagulação na Remoção de Compostos Orgânicos Causadores de Gosto e Odor em Águas de Abastecimento Mediante Aplicação de Carvão Ativado em pó. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.3, 2005.
11. SEMA, Resolução Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos Industriais. 2007 IAP – Instituto Ambiental do Paraná.
12. OLIVEIRA, A.C.P.; AZEVEDO, S.M.F.O. Parte da tese “Efeitos de Fatores Físicos, Químicos e Biológicos na Degradação e Remoção de Microcistinas” para obtenção do grau de Doutor em Ciências Biológicas – área de concentração em Biotecnologia Vegetal, defendida em fevereiro/2003 no Programa de Biotecnologia Vegetal da Universidade Federal do Rio de Janeiro, J. Bras Nefrol, v.24, n.3, 1997.
13. WARHURST, A.M.; McCONNACHIE, G.L.; POLLARD, S.J.T. Characterization and Applications of Activated Carbon Produced From Moringa Oleifera Seed Husk by Syngle-step Steam Pyrolysis. Water Research, v.31, n.4, p.759-766, 2997.