

## II-374 - PÓS-TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO POR FILTRAÇÃO ASCENDENTE EM PEDREGULHO SEGUIDA DE ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO GRANULAR

**Renan Borelli Galvão<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL e Mestrando em Engenharia de Edificações e Saneamento na Universidade Estadual de Londrina - UEL

**Andressa Algayer da Silva**

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e Mestranda em Engenharia de Edificações e Saneamento na Universidade Estadual de Londrina - UEL

**Eduardo Hideo Fujii**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Londrina – UEL e Mestre em Engenharia de Edificações e Saneamento na Universidade Estadual de Londrina – UEL.

**Rodolfo Esperança Napolitano**

Discente do curso de Engenharia Civil na Universidade Estadual de Londrina - UEL

**Fernando Fernandes**

Professor Doutor, Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina - UEL

**Emília Kiyomi Kuroda**

Professora Doutora, Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina - UEL

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rodovia Celso Garcia Cid PR445 KM380 Campus Universitário Cx. Postal 10.011 - Bairro Perobal - Londrina - Paraná - CEP: 86057-970 - Brasil - Tel: +55 (43) 3371-5826 +55 (43) 9819-0076 - e-mail: [renan\\_bg7th@msn.com](mailto:renan_bg7th@msn.com).

### RESUMO

O tratamento de lixiviado de aterro sanitário pode ser baseado em processos biológicos e físico-químicos. O tratamento biológico, embora eficiente na remoção de nitrogênio amoniacal e matéria orgânica biodegradável, tem pouca ação sobre a matéria orgânica recalcitrante, necessitando assim, de um pós-tratamento adequado para alcançar a qualidade requerida e atender às legislações pertinentes. Neste trabalho, avaliou-se o pós-tratamento por coagulação e filtração ascendente em pedregulho seguida da adsorção em carvão ativado granular em lixiviado do aterro sanitário de Cianorte – PR, previamente tratado por processos biológicos. Dentre os parâmetros de concepção e de controle operacional destacam-se: Para o Filtro Ascendente em Pedregulho - FAP: camada filtrante composta por pedregulho e areia, 3 descargas de fundo intermediárias, perda de carga limite de 120 cm, tempo de operação mínimo de 24 horas, taxa de filtração de  $15 \text{ m}^3 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ , dosagem de  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe e pH 4,0; Para o Filtro de Carvão Ativado Granular - FCAG: coluna de carvão ativado nas dimensões 4 x 4 cm de base e 45 cm de altura, vazão de aplicação de  $2 \text{ L h}^{-1}$ , correspondendo a um tempo de contato de 20 min. A concepção do sistema de filtração ascendente em pedregulho seguida de adsorção em carvão ativado granular mostrou-se viável para aplicação como pós-tratamento em escoamento contínuo de lixiviado tratado biologicamente, apresentando: elevada eficiência de remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor verdadeira, com porcentagens de remoção entre 98,0 e 100,0%, e valores absolutos residuais entre 13 e 0 uH, respectivamente; elevada eficiência de remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à DQO, com porcentagens de remoção de 77,6% para o FAP e 93,1% para o FCAG, e valores absolutos residuais de 140 e  $43 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente; duração total da carreira de filtração de 40,67 h, operada em 4 ciclos e 3 DFIs.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de chorume, Filtração em meio granular, Sistemas adsorptivos, Tratamento físico-químico.

### INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos urbanos em aterros sanitários é uma das formas de disposição mais viável técnica e economicamente para a realidade brasileira. Um dos inconvenientes da técnica de aterros sanitários, porém, é a geração de subprodutos, como por exemplo, gás metano e lixiviado. O lixiviado, comumente conhecido

também como chorume, é um líquido escuro caracteristicamente de odor desagradável e alto poder poluente, gerado pelo carreamento do material solúvel, resultante dos processos físico-químicos e biológicos de decomposição do aterro, e da água percolada das chuvas. Apresenta elevados teores de compostos orgânicos e inorgânicos, dissolvidos e em suspensão. De matriz complexa, sua composição é extremamente variável, dependendo das características do aterro e condições climáticas.

A idade do aterro é um fator determinante que reflete diretamente nas características do lixiviado. Lixiviados estabilizados, aqueles com mais de 10 anos de início de deposição, podem conter substâncias de difícil biodegradação, chamadas recalcitrantes, em sua maioria compostos húmicos, tais como ácidos húmicos, fúlvicos e huminas. Sendo assim, este efluente não deve ser lançado indiscriminadamente nos corpos d'água, mas sim passar por tratamento adequado, a fim de assegurar sua disposição sem causar danos ao meio ambiente.

Visando a preservação do meio ambiente e a garantia da qualidade de vida à população, as legislações restringem cada vez mais os padrões de enquadramento de corpos hídricos e de lançamento de efluentes. No Paraná, a Resolução N° 86/20013 do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CEMA, fixa entre outras determinações, a redução de 80% do valor de entrada de DBO e DQO para o tratamento de lixiviado. A Resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, estabelece valores limites para cor verdadeira de 75 uH para enquadramento de corpos d'água doce classe 2 e 3.

O tratamento de lixiviado pode ser baseado em processos biológicos e físico-químicos. O tratamento biológico pode ocorrer por processos aeróbios, anaeróbios e facultativos, e embora eficientes na remoção de nitrogênio amoniacal e matéria orgânica biodegradável, apresentam pouca ação sobre a matéria orgânica recalcitrante, necessitando assim, de um pós-tratamento adequado para atender às legislações pertinentes. Diversas tecnologias de pós-tratamento baseadas em processos físico-químicos têm sido estudadas, tais como, coagulação - floculação - sedimentação/flotação, adsorção, filtração por membranas, oxidação avançada e precipitação química, apresentando maior eficiência na remoção de compostos recalcitrantes quando comparados ao tratamento biológico.

A Filtração Ascendente em Pedregulho consiste no escoamento ascendente (da base do filtro ao topo) e contínuo de lixiviado coagulado, com retenção das partículas coaguladas e flocos, inicialmente nas camadas filtrantes inferiores de maior granulometria e posteriormente nas camadas superiores de menor granulometria. A remoção de partículas no processo de filtração pode ocorrer por dois mecanismos complementares: transporte e aderência. Inicialmente as partículas devem ser arrastadas próximas à superfície dos grãos e, em seguida, aderirem às camadas granulares de maneira a resistir forças de cisalhamento do escoamento intergranular (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Em resumo, podem-se destacar as seguintes vantagens dos sistemas de filtração direta ascendente - técnica tradicionalmente utilizada para o tratamento de águas: menores dimensões das estações de tratamento devido à eliminação das unidades de floculação e sedimentação; menor quantidade de coagulante utilizado, pois não há necessidade de formação de flocos grandes e densos para sedimentarem no decantador; filtração ascensional do maior grão para o menor, possibilitando a utilização da altura total do meio granular para a retenção de impurezas; menor taxa de incremento da perda de carga no meio granular devido à remoção de uma quantidade considerável de impurezas no meio filtrante de maior granulometria, com consequente aumento da duração da carreira de filtração (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Fujii (2014) avaliou o pós-tratamento por coagulação seguida de filtração ascendente em pedregulho em lixiviado previamente tratado por *stripping* de amônia seguido de tratamento biológico por lodos ativados. Os parâmetros de concepção e de controle operacional foram: camada filtrante composta por pedregulho e areia, 3 descargas de fundo intermediárias, perda de carga limite de 120 cm, tempo de operação mínimo de 24 horas, taxa de filtração de  $15 \text{ m}^3 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ , dosagem de  $400 \text{ mg L}^{-1}$  de Fe e pH 4,0. Os resultados comprovaram a aplicabilidade do sistema FAP, apresentando remoções variando de 96,0 a 99,7% para cor aparente, com residuais de 170 a 13 uH, respectivamente; de 99,4% para a cor verdadeira com valor máximo de 24 uH; 81,8% para a DQO com valor máximo de  $200 \text{ mg L}^{-1}$ ; 95,2% para o COT com valor de  $44 \text{ mg L}^{-1}$ ; e duração máxima da carreira de filtração de 37,1 h.

A adsorção, por sua vez, é o processo de aderência/acumulação de uma substância presente em fase líquida ou gasosa em superfície de outra em fase sólida. O material acumulado é chamado adsorvato, e o material onde ele se acumula é chamado adsorvente. A capacidade adsorvativa e as taxas de adsorção são influenciadas pela natureza do adsorvato e as características químicas da superfície do adsorvente.

Os carvões ativados granulares e pulverizados são exemplos de adsorventes amplamente utilizados no tratamento de águas e águas residuárias. A capacidade adsorvativa do carvão ativado depende de fatores intrínsecos ao material, provenientes da forma de ativação e do material de produção, como por exemplo: distribuição de volume específico em função do tamanho do poro, área de superfície específica, existência de grupos funcionais de superfície, etc. Entretanto, outros fatores e condições experimentais podem atuar na eficiência do processo, favorecendo ou dificultando a adsorção, tais como: pH, temperatura, tempo de contato requerido, grau de agitação e presença de compostos que competem pelos mesmos sítios de adsorção, entre outros (KURODA *et al.*, 2005).

Kawahigashi (2014), em seus estudos de pós-tratamento do lixiviado do aterro de Rolândia - PR por coagulação-floculação-sedimentação seguida de adsorção em CAG, em ensaios em escala de bancada, obteve remoções de 100% para cor aparente e verdadeira, de 76% para DQO com valor residual de 71 mg L<sup>-1</sup> e 67% para COT com valor residual de 40 mg L<sup>-1</sup>.

## OBJETIVO

Avaliar a eficiência do pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação, filtração ascendente em pedregulho e adsorção em carvão ativado granular em instalação piloto de escoamento contínuo em relação à remoção de matéria orgânica recalcitrante.

## MATERIAL E MÉTODOS

O lixiviado de estudo foi proveniente do aterro sanitário da cidade de Cianorte - PR. O aterro iniciou sua operação em março de 2002, e seu lixiviado apresenta, assim, características de lixiviado estabilizado. O tratamento *in loco* é realizado por processos biológicos composto por lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação. O lixiviado de estudo, tratado biologicamente, foi caracterizado segundo os parâmetros apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Parâmetros e métodos utilizados na caracterização dos lixiviados de estudo e tratados**

Parâmetros	REF. APHA, AWWA, WEF (2012)	Método
pH	Potenciométrico - 4500	Potenciométrico
Alcalinidade	22320 - C	Titulométrico
N-amoniaco	4500 - NH <sub>3</sub> B e C	Destilação e Titulação
Cor verdadeira	2120 - C	Método espectrofotométrico – filtrado em membrana 0,45 µm
Cor Aparente	2120 - C	Método espectrofotométrico
DQO	5220 C e adição de padrão	Método do refluxo fechado
Turbidez	2130 - B	Método nefelométrico

Inicialmente, foram realizados ensaios de coagulação - floculação - sedimentação em reatores estáticos e escala de bancada – Jarteste a fim de se obter as condições de maior eficiência (dosagem de coagulante e pH de coagulação) em relação à remoção de matéria orgânica recalcitrante, correlacionada à cor verdadeira. Estes ensaios foram realizados considerando os parâmetros utilizados por Kawahigashi *et al.* (2014), Maler (2013), Pozzetti (2014), Fujii (2014), Castro (2012) e Felici (2010) e ensaios preliminares, tendo sido adotadas as condições de teste: dosagens de coagulantes de 100 e 200 mg L<sup>-1</sup> e valores de pH entre 3,5 e 5,5. Os produtos químicos utilizados tanto nos ensaios em Jarteste quanto em instalação piloto foram: solução comercial de

ácido clorídrico com 37% em massa e massa específica =  $1,187 \text{ kg L}^{-1}$  como acidificante e solução comercial de cloreto férrico líquido com 38,94% de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e massa específica =  $1,412 \text{ kg L}^{-1}$  como coagulante.

Após determinação da dosagem e pH de coagulação de maior eficiência, procedeu-se o ensaio de filtração ascendente em pedregulho seguida da adsorção em carvão ativado granular em instalação piloto de escoamento contínuo. O sistema piloto de filtração ascendente em pedregulho utilizada no ensaio foi projetada e construída por Fujii (2014) e encontra-se instalada no Laboratório de Hidráulica e Saneamento da UEL. Detalhes técnicos de projeto e construção podem ser encontrados na referida citação de origem. A instalação foi constituída por sistemas de alimentação de lixiviado de estudo, de coagulação química, de filtração ascendente em pedregulho (contendo o Filtro Ascendente em Pedregulho - FAP) e de descarga e lavagem do filtro. A Figura 1 apresenta um esquema detalhado da instalação, podendo-se observar os componentes de cada sistema.

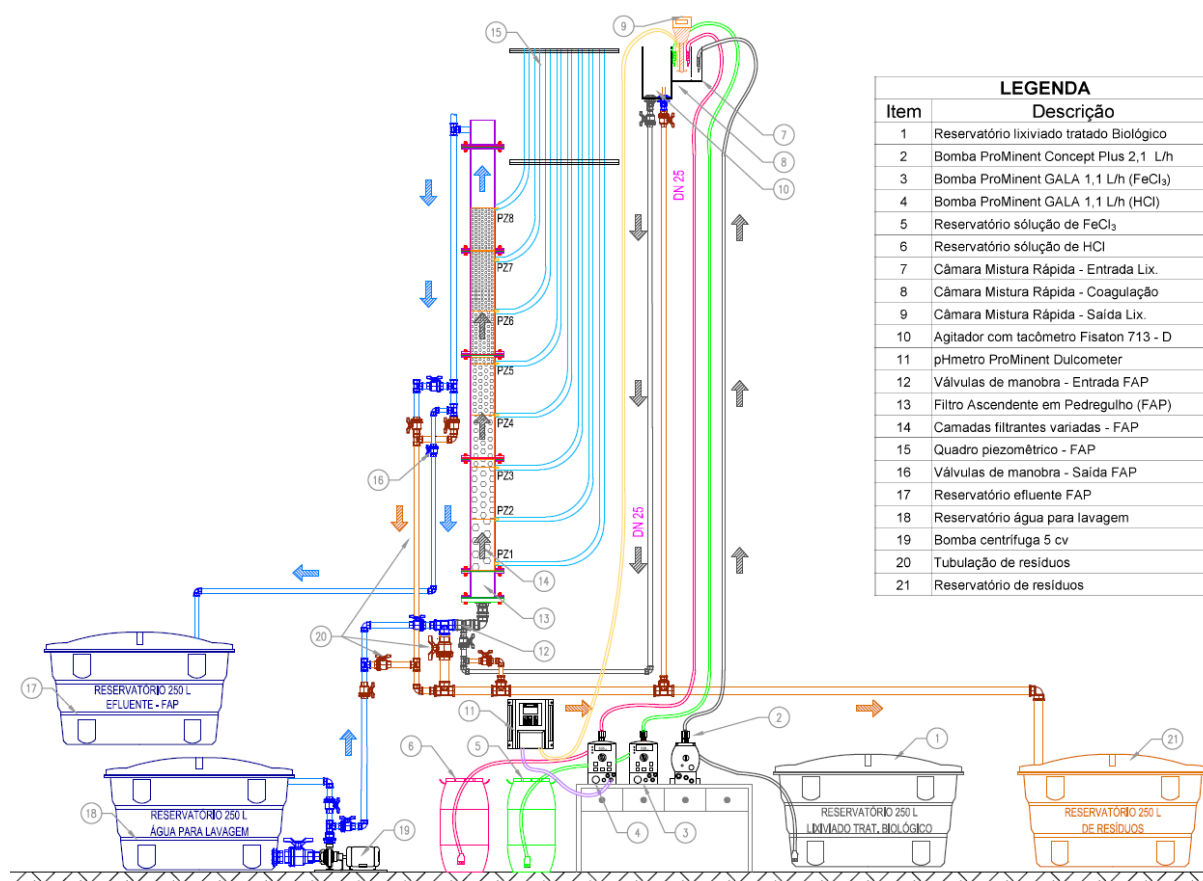


Figura 1 – Esquema da Instalação Piloto de Filtração Ascendente em Pedregulho

Fonte: Fujii (2014)

O sistema de alimentação foi utilizado para recalcar o lixiviado de estudo para a câmara de mistura rápida, posicionada a uma altura de aproximadamente 6,0 m, utilizando bomba dosadora eletromagnética e mangueiras de sucção e recalque em polipropileno. O sistema de coagulação química foi composto por câmara de recepção do lixiviado de estudo; unidade de dosagem de produtos químicos constituído de bombas dosadoras e controlador de pH; câmara de mistura rápida com agitador mecânico; e câmara de distribuição de lixiviado coagulado, interligada diretamente ao fundo do filtro a fim de possibilitar a alimentação do mesmo.

Nos ensaios realizados na instalação piloto do FAP foram aplicadas as condições de controle operacional de maior eficiência obtidos por Fujii (2014) e nos resultados dos ensaios em Jarreste descritos anteriormente: taxa de filtração FAP =  $15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; dosagem de coagulante =  $100 \text{ mg L}^{-1} \text{ Fe}$ ; pH de coagulação = 4,0; composição granulométrica do FAP (espessura das camadas) - areia média (0,30 - 1,20 mm) = 60 cm, areia grossa (0,6 - 2,4 mm) = 30 cm, pedregulho fino (2,4 - 4,8 mm) = 30 cm, pedregulho médio-fino (4,8 - 9,5 mm) = 30 cm, pedregulho médio (9,5 - 19 mm) = 30 cm e pedregulho grosso (19 - 25 mm) = 30 cm.

Também baseando-se em Fujii (2014), foram definidos como critérios de parada: perda de carga limite do FAP de 120 cm e número de descargas de fundo de intermediárias – DFIs igual a 3, a fim de prolongar a carreira de filtração para duração mínima de 24,0 h. Assim, a primeira DFI foi executada com 30 cm de perda de carga (1<sup>o</sup> ciclo), a 2<sup>o</sup> DFI com 60 cm (2<sup>o</sup> ciclo), a 3<sup>o</sup> DFI com 90 (3<sup>o</sup> ciclo) e a última descarga de fundo – DF com 120 cm (4<sup>o</sup> ciclo), finalizando assim a carreira de filtração do FAP.

A unidade de adsorção em carvão ativado granular foi composta pelo Filtro de Carvão Ativado Granular – FCAG, construído em acrílico, com dimensões de 4 x 4 cm de base e 45 cm de altura. O carvão utilizado foi o mesmo carvão selecionado como de maior eficiência nos estudos de Kawahigashi (2014), e tem como matéria-prima o endocarpo do coco, número de iodo – NI de 976 mg g<sup>-1</sup>, e de azul de metileno – IAM de 190 mg g<sup>-1</sup>. Nesse ensaio, o lixiviado de saída do FAP foi encaminhado em fluxo contínuo para o FCAG a uma vazão de 2 L h<sup>-1</sup>, resultando em tempo de contato de 20 min.

Para monitoramento e controle de eficiência do sistema foram coletadas amostras a cada 15 minutos na 1<sup>a</sup> hora, a cada 30 minutos nas 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> horas e de hora em hora no demais tempos após partida do sistema, em ambas unidades de filtração FAP e FCAG.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização inicial do lixiviado tratado biologicamente – lixiviado de estudo são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Valores da caracterização inicial do lixiviado de estudo**

Parâmetros	Unidade	Tratado Biológico
pH	-	8,46
Alcalinidade	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	1293
Turbidez	uT	242
N-amoniaco	mg N-NH <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	52
DQO	mg L <sup>-1</sup>	623
Cor verdadeira	uH	658
Cor aparente	uH	1419

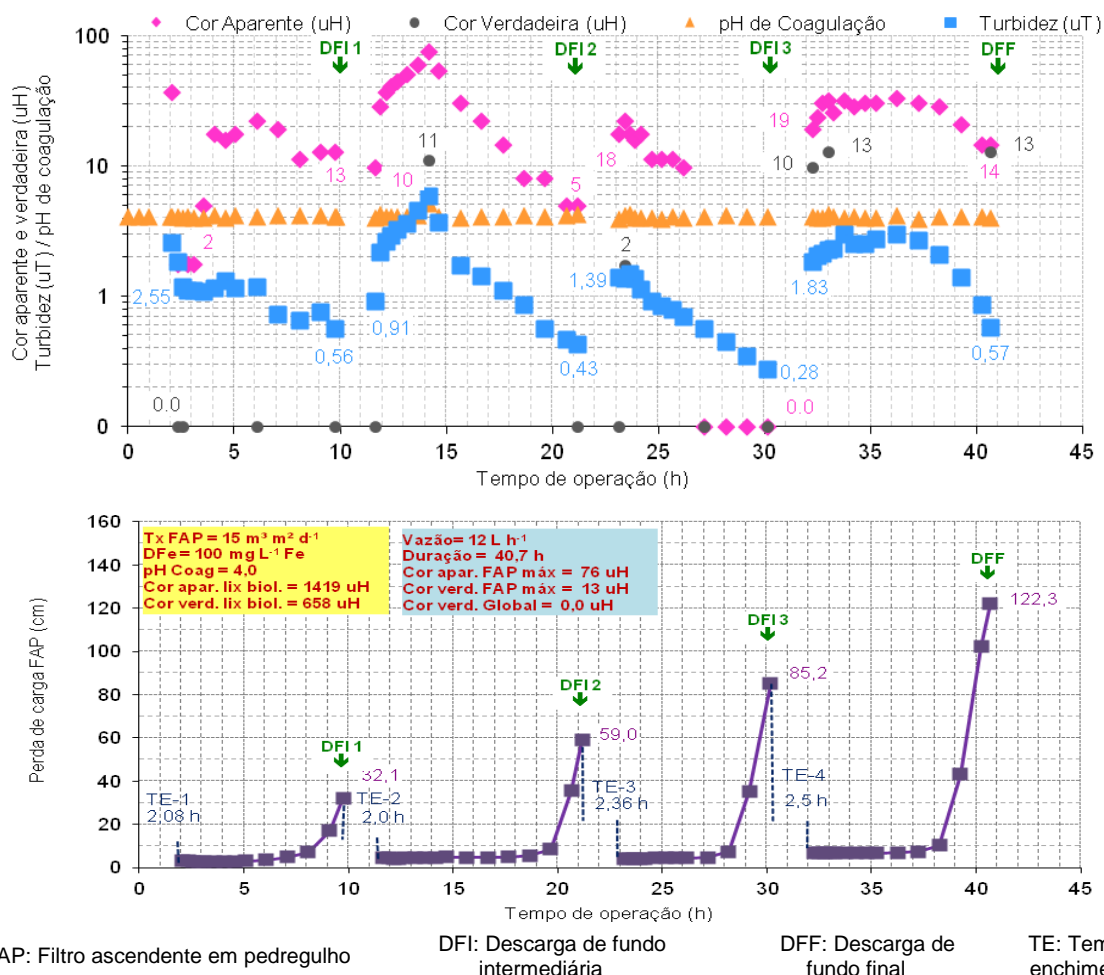
A partir dos resultados obtidos nos ensaios em escala de bancada em equipamento Jarteste, sumarizados na Tabela 3, observou-se que valores de pH próximos a 4,0 resultaram em maiores eficiências para ambas dosagens de coagulante, podendo-se destacar os valores de pH mais baixos de 4,09 para dosagem de Fe de 100 mg L<sup>-1</sup> e 4,23 para dosagem de 200 mg L<sup>-1</sup>, com valores residuais de cor verdadeira de 8,1 e 0 uH, respectivamente. Sendo assim, decidiu-se pela dosagem de Fe de 100 mg L<sup>-1</sup> e pH 4,0 como as condições de coagulação de maior eficiência, visto que a diferença na cor verdadeira residual para o dobro da dosagem de Fe não foi significativa a ponto de justificar tamanho aumento do consumo de coagulante.

**Tabela 3 - Condições de coagulação e valores de cor verdadeira residual das amostras dos ensaios em Jarteste**

Vsed = 0,23 cm min <sup>-1</sup> (Tsed = 30 min)						
Dosagem Fe (mg L <sup>-1</sup> )	100	<b>100</b>	100	200	200	200
Dosagem HCl (mg L <sup>-1</sup> )	690	<b>615</b>	480	330	300	200
pH de coagulação	3,51	<b>4,09</b>	5,30	3,91	4,23	5,12
Cor verdadeira (uH)	95	<b>8</b>	52	25	0,0	18

A Figura 2 apresenta os resultados de cor aparente, turbidez e pH de todas as amostras coletadas após o FAP e de perda de carga no meio granular do filtro ao longo do ensaio, bem como os valores iniciais, finais e máximos de cor verdadeira de cada ciclo operacional.





**Figura 2 - Valores de cor aparente, cor verdadeira, turbidez, pH de coagulação após o FAP e perda de carga em função da duração da carreira de filtração**

Para o lixiviado de estudo, com cor aparente de 1419 uH e cor verdadeira de 658 uH, e condições operacionais aplicadas: taxa de filtração constante de 15 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, dosagem de 100 mg L<sup>-1</sup> de Fe em pH 4,0:

- A eficiência de remoção de cor aparente para as amostras coletadas após o FAP variou de 94,6% a 100,0%, resultando em valores absolutos residuais entre 76 e 0 uH, respectivamente;
- A eficiência de remoção de cor verdadeira para as amostras coletadas após o FAP variou entre 98,0 e 100,0% com valores absolutos residuais entre 13 e 0 uH, respectivamente;
- A duração total da carreira de filtração foi de 40,67 h, operada em 4 ciclos e 3 DFIs.

A eficiência de remoção de cor aparente e cor verdadeira para todas as amostras coletadas após o FCAG ao longo do tempo foi de 100%, resultando em valores absolutos residuais de 0 uH.

As amostras compostas do FAP e do FCAG, constituídas por alíquotas proporcionais dos volumes acumulados das carreiras intermediárias dos lixiviados produzidos ao longo do tempo, apresentaram as seguintes características: DQO<sub>FAP</sub> = 140 mg L<sup>-1</sup>, DQO<sub>FCAG</sub> = 43 mg L<sup>-1</sup>, e Cor Verdadeira Residual = 0 uH tanto para o FAP quanto para o FCAG, o que correspondem às porcentagens de remoção de 77,6% e 93,1% de DQO para FAP e FCAG, respectivamente e 100% de remoção de cor verdadeira para ambos os filtros.

Desta forma, pode-se constatar que todo o efluente produzido no ensaio apresentou qualidade compatível aos padrões de enquadramento para águas doces classes 2 e 3 da Resolução N° 357/2005 – CONAMA em relação à cor verdadeira, cujo limite estabelecido é de 75 uH. Quanto ao padrão de lançamento em relação à DQO da

Resolução N° 086/2013 - CEMA, cujo valor mínimo é 80% do valor de entrada, considerando a limitada eficiência do tratamento biológico na remoção de matéria orgânica recalcitrante, utilizou-se como referência o valor de DQO do lixiviado tratado biologicamente, resultando em 124,6 mg L<sup>-1</sup> de DQO. Para essas condições, apenas o efluente oriundo do FCAG atendeu a esse valor, o que comprova a necessidade de tratamento complementar como o empregado neste trabalho.

## CONCLUSÕES

A concepção do sistema de filtração ascendente em pedregulho seguida de adsorção em carvão ativado granular mostrou-se viável para aplicação como pós-tratamento em escoamento contínuo de lixiviado tratado biologicamente, apresentando:

- Elevada eficiência de remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à cor verdadeira, com porcentagens de remoção entre 98,0 e 100,0%, e valores absolutos residuais entre 13 e 0 uH, respectivamente;
- Elevada eficiência de remoção de matéria orgânica recalcitrante correlacionada à DQO, com porcentagens de remoção de 77,6% para o FAP e 93,1% para o FCAG, e valores absolutos residuais de 140 e 43 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente;
- Duração total da carreira de filtração no FAP de 40,67 h, operada em 4 ciclos e 3 DFIs.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução no 357, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos 146 de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.
2. CASTRO, A. P. Influência da adição de polieletrólito no processo de floculação como pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário visando a remoção de carga orgânica recalcitrante. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2012.
3. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2ª ed., v. 1, São Carlos: RiMa, 2005.
4. 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. 2010. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010.
5. FUJII, E. H. Avaliação da aplicabilidade da filtração direta ascendente em pedregulho como pós-tratamento de lixiviado de tarro sanitário. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.
6. KAWAHIGASHI, F.; MENDES, M. B.; ASSUNÇÃO JUNIOR, V. G.; GOMES, V. H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. Eng. Sanit. Ambient. 2014, vol.19, n.3, pp. 235-244.
7. KURODA, E. K.; ALBUQUERQUE JR, E. C.; DI BERNARDO, L.; TROFINO, J. C. Caracterização e escolha do tipo de carvão ativado a ser empregado no tratamento de águas contendo microcistinas. XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande - MS, Set. 2005.
8. MALER, C. L. Aplicação do processo Fenton a diferentes etapas do tratamento de lixiviados de aterro sanitário. 2013. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2013.
9. PARANÁ, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 086/2013 – CEMA. Dispõem sobre o licenciamento ambiental para atividades poluidoras, degradadoras e modificadoras do meio ambiente. Curitiba, 2013.
10. POZZETTI, J. D. C. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação química-floculação-sedimentação, adsorção em carvão ativado pulverizado e avaliação ecotoxicológica. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.