

RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DA FILTRAÇÃO LENTA COMO TRATAMENTO DE ÁGUAS COM BAIXA TURBIDEZ E PRESENÇA DE ALGAS E CIANOBACTÉRIAS: APLICAÇÃO À ÁGUA DO LAGO PARANOÁ/DF.

Tadeu Mendonça de Novais Teixeira – tadeumnateixeira@gmail.com
Universidade de Brasília.

Cristina Célia Silveira Brandão – cbrandao@unb.br
Universidade de Brasília.

Resumo: A crescente demanda por água tratada tem requerido a utilização de novos mananciais de água para o abastecimento humano, como em breve ocorrerá com o lago Paranoá. Entretanto para adequada definição da tecnologia de tratamento a ser adotada faz-se necessário o conhecimento das características limnológicas e do ecossistema aquático. A filtração lenta é uma alternativa tecnológica que tem se mostrado eficiente na remoção partículas sólidas, cianobactérias e vários patógenos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a adoção da filtração lenta, considerando mananciais com baixa turbidez e presença de microalgas e cianobactérias utilizando a água do lago Paranoá como estudo de caso. Para tal, foram realizados experimentos em filtros lentos de areia em escala piloto, em duplicada, operados com taxa de filtração de 2 e 5 m³.m⁻².dia⁻¹ com água bruta do lago Paranoá. Os resultados obtidos corroboram o grande potencial da filtração lenta para remoção de turbidez (97%), clorofila-*a* (99%) e micro-organismos patogênicos, praticamente 100% de remoção de coliformes totais e *E. coli*.

Palavras-chave: Filtração lenta com areia, Remoção de microalgas e cianobactéria, Lago Paranoá.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Em virtude do crescimento populacional, intensificado pela expansão das regiões administrativas do entorno do Distrito Federal, a demanda por água para o abastecimento da região tem se elevado. Segundo o Plano Diretor de Água e Esgotos do Distrito Federal da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal CAESB (PLD-2000), os sistemas atualmente em utilização estão próximos da capacidade limite de produção de água, sendo necessário, portanto, ampliar a captação de água a partir da exploração de outros mananciais superficiais. Dessa forma, o lago Paranoá se apresenta como uma das alternativas.

O lago Paranoá compreende uma área superficial de 37,50km² e é utilizado para lazer, geração de energia, harmonia paisagística, mas também é corpo receptor dos efluentes de duas ETEs e do sistema de drenagem pluvial da bacia (SEMARH, 2001).

Um problema comum em lagos e reservatórios urbanos é a proliferação de algas e cianobactérias. Nas décadas de 70 e 80, o lago Paranoá passou por acelerado processo de eutrofização, com florações das cianobactérias *Microcystis* e *Cylindrospermopsis*. Após a implantação das ETEs Sul e Norte esse processo retrocedeu e hoje são encontradas no lago Paranoá algumas espécies de cianobactérias.

O predomínio de cianobactérias na água a ser tratada pode causar riscos à saúde humana, caso as mesmas sejam produtoras de cianotoxinas (hepatotoxinas, neurotoxinas e dermatotoxinas) (Chorus e Bartram, 1999). Diante dos potenciais riscos associados ao consumo humano, a Portaria N° 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) recomenda o monitoramento de cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas, buscando-se a diferenciação e classificação dos gêneros, no ponto de captação superficial do reservatório, bem como estabelece limites máximos para a concentração de cianotoxinas na água potável.

Para reduzir os riscos à saúde humana, associados à presença de cianobactérias em mananciais de abastecimento público, faz-se necessária a adoção de medidas preventivas, como a minimização dos aportes de nutrientes, bem como medidas corretivas, por meio do tratamento da água a ser distribuída. São várias as tecnologias de tratamento que têm sido avaliadas quanto à capacidade de remoção de cianobactérias e cianotoxinas, incluindo a filtração lenta (PROSAB, 1999).

A filtração lenta apresenta como vantagens: simples operação e manutenção dos filtros; não requer mão de obra especializada; apresenta reduzido consumo energético; não utiliza coagulantes químicos; é eficiente na remoção de micro-organismos patogênicos; e a confiabilidade do sistema para a produção de água de boa qualidade. Em contrapartida, a necessidade de grandes áreas para sua instalação pode ser um fator limitante para a construção desse sistema em grandes centros urbanos (EPA, 1992, Kawamura, 1991, Clarke *et al.*, 1996 *apud*. Brandão *et al.*, 1998). Além disso, a adoção da filtração lenta é recomendada para águas que apresentam valores de cor verdadeira, turbidez e teor de sólidos suspensos relativamente baixos (GALVIS, *et al.*, 1998, PROSAB, 1999).

Diversos autores realizaram estudos que avaliaram a eficiência dos filtros lentos na remoção de impurezas. Em sua vasta maioria, os resultados apontam uma expressiva eficiência de remoção tanto de partículas inertes quanto de micro-organismos e toxinas. Nos Estados Unidos, Europa e mesmo no Brasil, vários trabalhos apontam a capacidade da filtração lenta em remover protozoários, vírus, bactérias e turbidez (TIMMS *et al.*, 1993 *apud*. PROSAB, 2006; DULLEMONT *et al.*, 2006; HELLER *et al.* 2006; SCHULER, GHOSH e GOPALAN, 1991; JENKINS, TIWARI e DARBY, 2011).

Outros estudos também constataram que a filtração lenta é eficiente também na remoção de células de *Microcystis* e *Cylindrospermopsis* e suas cianotoxinas. Sá (2006), a partir de experimentos com filtros lentos em escala piloto, usando água do lago Paranoá periodicamente enriquecida com 10⁶ cél.mL⁻¹ de *Microcystis aeruginosa*, observou que inicialmente houve elevada retenção das células, mas, em seguida, uma parcela das células retidas foi arrastada, transpassando o meio filtrante e alcançando o reservatório de água filtrada. Entretanto, os filtros lentos apresentaram grande potencial de remoção de *M. aeruginosa* e microcistina extracelular. Vale ressaltar, porém, que dois fatores foram imprescindíveis à eficácia da remoção: o nível de maturação dos filtros, que depende de fatores como o tempo de operação, temperatura e características do afluente; e a aclimatação prévia com uma exposição dos filtros à microcistina. Resultados similares foram relatados por obtidos por Arantes *et al.*

(2005) trabalhando com água do lago Paranoá enriquecida com *Cylindrospermopsis raciborskii* e saxitoxinas.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é avaliar a adoção da filtração lenta, considerando mananciais com baixa turbidez e presença de microalgas e cianobactérias utilizando a água do lago Paranoá como estudo de caso.

2. METODOLOGIA

2.1 Montagem e operação da instalação piloto de filtração lenta.

Duas colunas de filtro lento de areia (F.L.A.) foram utilizadas para a realização dos experimentos de filtração lenta. A Figura 1 apresenta um esquema da instalação piloto e a Figura 2 mostra fotos da instalação em funcionamento.

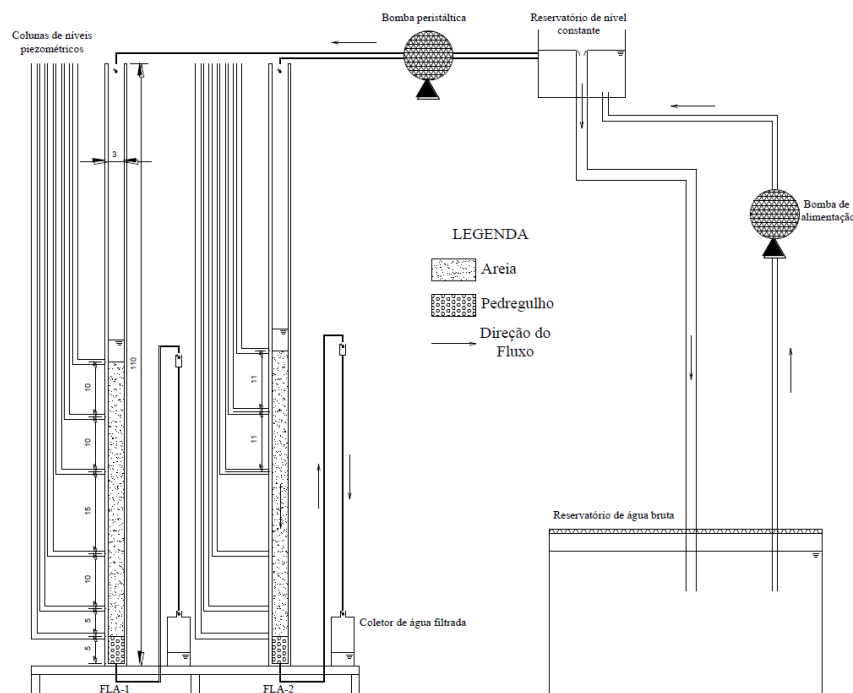


Figura 1 - Esquema da instalação piloto de filtração lenta.



Figura 2 – Instalação Piloto de filtração lenta.

Cada filtro era constituído por um tubo de acrílico de 8,5 cm de diâmetro e 2 m de altura, preenchido com 90 cm de meio filtrante (areia), apoiado em uma camada suporte composta por pedregulho fino e uma malha de alta porosidade. As colunas eram providas de seis tomadas piezométricas ao longo do meio filtrante, de modo a permitir a verificação da perda de carga e a evolução da obstrução do meio filtrante. A Tabela 1 detalha as características granulométricas adotadas para o meio filtrante utilizado nos filtros lentos pilotos, embasados pelo trabalho realizado por Sá (2006).

Tabela 1 – Características granulométricas do meio filtrante.

Parâmetro	Valores adotados
Material	Areia
Tamanho dos grãos (mm)	0,15 – 0,84
Diâmetro efetivo – d_{10} (mm)	0,28
Coefficiente de desuniformidade (d_{10}/d_{60})	2
Espessura do meio filtrante (m)	0,90
Porosidade	0,40

Os filtros foram alimentados continuamente (24 h) com água do lago Paranoá, colhida diariamente, com exceção dos finais de semana, em que não se realizava a troca de água. A alimentação dos filtros era realizada na parte superior de cada coluna com auxílio de uma bomba peristáltica, visando garantir a taxa de filtração desejada. A água filtrada era coletada na parte inferior do filtro e para evitar o esvaziamento do filtro a tubulação de saída era prolongada até aproximadamente 3 cm acima da superfície do meio filtrante.

Por se tratar de um processo eminentemente biológico, o tempo de operação dos filtros influencia diretamente na eficiência da remoção de impurezas. Outros fatores como temperatura, luminosidade e características físico-químicas e biológicas da água bruta também interferem no desenvolvimento da *schmutzdecke* e, por conseguinte, influenciam na capacidade de retenção de impurezas pelos filtros lentos. Dessa forma, os filtros foram operados por 57 dias consecutivos, contabilizados desde o início do processo de maturação até o final dos experimentos de filtração lenta. Nos primeiros 50 dias, os filtros foram operados à taxa de 2 m³/m².dia. Nos sete dias restantes, mudou-se a taxa de filtração para 5 m³/m².dia, visando a comparação entre os comportamentos evidenciados para os filtros quando operados com diferentes taxas de filtração.

Visando determinar a remoção de impurezas pelos filtros lentos, tanto a água filtrada como a água bruta foram avaliadas quanto aos parâmetros de qualidade de água listados na Tabela 2. A água efluente aos filtros era armazenada em galões de vidro, um para cada coluna, durante 24h de operação.

Tabela 2 – Parâmetros de qualidade da água e frequência de amostragem para monitoramento dos filtros.

Parâmetro	Método de análise	Frequência de amostragem
Clorofila-a (µg.L ⁻¹)	Extração em clorofórmio-metanol medida de absorbância em λ=665 e 750nm	Diariamente (AB ¹ e AF ²)
Coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP.100mL ⁻¹)	Substrato cromogênico ONPG-MUG	Diariamente (AB ¹ e AF ²)
pH	Potenciométrico	Diariamente (AB ¹ e AF ²)
Turbidez (UNT)	Nefelométrico	Diariamente (AB ¹ e AF ²)

Legenda: AB (Água Bruta); AF (Água Filtrada); 1. Amostra pontual.; 2. Amostra composta coletada por um período de 24 horas.

Todos os experimentos e análises descritos neste trabalho foram realizados no Laboratório de Análises de Águas (LAA) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 3 e 4 retratam, respectivamente, as concentrações de clorofila-*a* e turbidez da água bruta (A.B.) e da água efluente aos filtros lentos de areia um e dois (F.L.A. 1 e F.L.A. 2, respectivamente) durante o período dos experimentos de filtração lenta. Dos resultados obtidos, observa-se que a eficiência de remoção de clorofila-*a* em ambos os filtros foi superior a 90%, e que em 94,6% do tempo, também para ambos os filtros, a remoção foi superior a 96,5%. Considerando apenas os dias em que, efetivamente, foi quantificada a clorofila-*a*, o FLA 1 e o FLA 2 apresentaram eficiência de remoção média em torno de 99%.

A eficiência de remoção de turbidez seguiu a mesma tendência verificada para a clorofila-*a*, apresentando valores médios de remoção em torno de 97% para ambos os filtros. Vale ressaltar que durante alguns dias de operação, em decorrência de eventos de precipitação, houve picos de turbidez na água bruta (lago Paranoá) com valores entre 10,3 UT e 12,9 UT, entretanto, não foi observada variação significativa na turbidez da água filtrada.

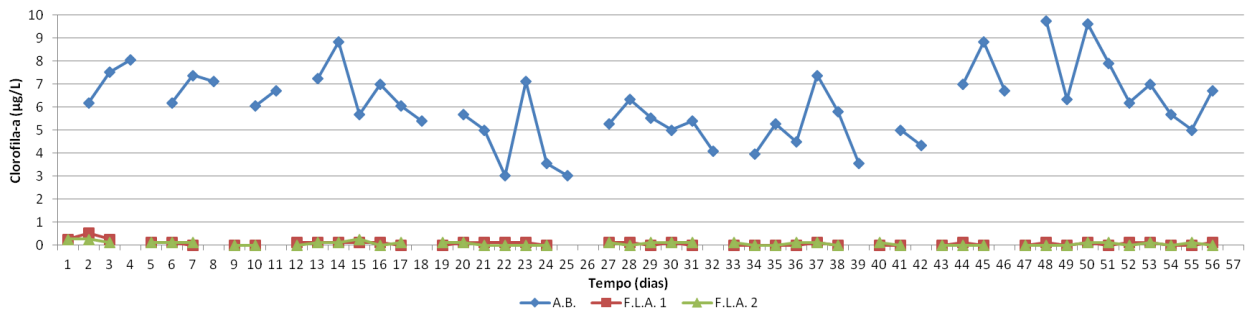


Figura 3 – Clorofila-a na água afluente e efluente aos filtros lentos.

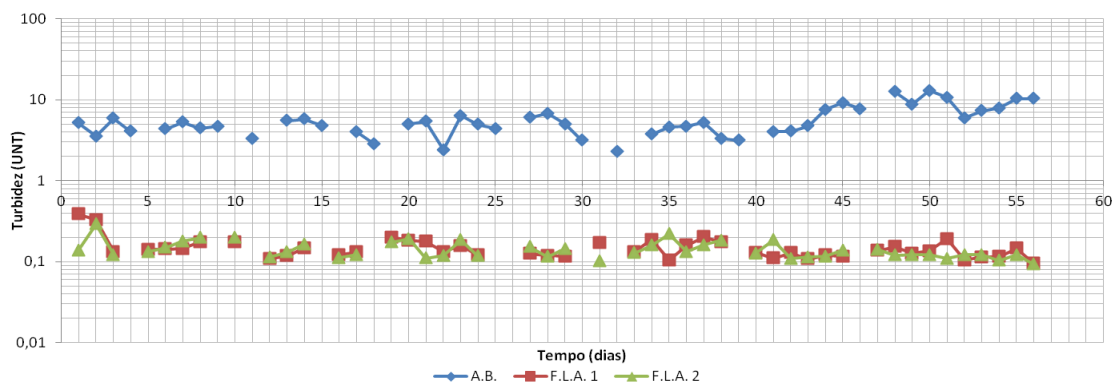


Figura 4 – Turbidez na água afluente e efluente aos filtros lentos.

Verifica-se nas Figuras 3 e 4 que, apesar da elevação da taxa de filtração no 50º dia, que passou de 2 para 5 m³/m².dia, as concentrações de clorofila-a e turbidez na água efluente aos filtros lentos não sofreram alterações notáveis, indicando que para esta taxa, o filtro é capaz de operar satisfatoriamente quanto à remoção de impurezas. Tal fato deve ser, entretanto, avaliado por um período maior.

Com relação à eficiência na remoção de Coliformes Totais e *E. coli*, os resultados obtidos corroboram a eficácia dos filtros lentos em remover patógenos. A eficiência de remoção de Coliformes Totais variou de 99,91% à 100% para o FLA 1 e de 99,97% à 100% no FLA 2. Já a remoção de *E. coli* foi de praticamente 100% durante todo o período de operação, para ambos os filtros lentos.

Os valores médios de pH para a água bruta e para a água efluente aos filtros lentos ficou em torno da neutralidade durante toda a carreira de filtração, apresentando os valores em torno de 7, tanto para a água bruta e como para os efluentes do FLA 1 e FLA 2. Essa condição de neutralidade é propícia para o bom desenvolvimento da camada biológica, principal responsável pela remoção de impurezas.

As perdas de carga sofridas pelos FLA 1 e FLA 2 não foram semelhantes, apesar de ambos os filtros apresentarem características de meio filtrante semelhantes e serem operados de forma paralela. Essa diferença de comportamento, contudo, não parece ter influenciado a eficiência dos filtros.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho, nas condições de operações adotadas, indicam o grande potencial da filtração lenta para a remoção de turbidez, clorofila-*a* e cianobactérias. De posse dessas considerações, e salientando ainda a necessidade de realização de mais estudos acerca do comportamento do filtro lento quando submetidos a condições mais críticas de qualidade da água com relação à presença de células de cianobactérias, algumas conclusões específicas merecem destaque:

- ✓ Decorrido um curto período de maturação do meio filtrante, a remoção de clorofila-*a* atingiu valores médios próximos a 99% em ambos os filtros.
- ✓ A remoção da turbidez seguiu a mesma tendência verificada para a clorofila-*a*, apresentando valores médios superiores a 97%. Nas condições de qualidade da água avaliadas, os filtros lentos foram muito eficientes em amortecer pequenos picos de turbidez, e impedir o transpasse elevado de células e partículas para a água efluente.
- ✓ Mantida as condições de baixas taxas de filtração, os filtros são capazes de operar por longos períodos, apresentando baixas perdas de carga. A elevação da taxa de filtração promove o rápido aumento da perda de carga total, concentrando a maior parcela da perda entre a primeira e a segunda tomada piezométrica. Ressalta-se a necessidade de mais estudos para avaliar o comportamento da perda de carga ao longo de maiores períodos e com diferentes taxas de filtração.

Recomenda-se a continuidade dos trabalhos, particularmente buscando avaliar o comportamento dos filtros quando operados em outras taxas de filtração, visando a melhoria da eficiência de remoção.

5. REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

ARANTES, C.; BURNETT, R.C.; PIRES JR, O.R.; SCHWARTZ, C.A.; BRANDÃO, C.C.S. (2005) Avaliação da remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* e saxitoxinas pelo processo de filtração lenta. Anais do 23 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. Único. p. 1-9.

BRANDÃO, C.C.S.; WIECHETECH, G.K.; MELLO, O.M.T. de; DI BERNARDO, L.; GALVIS C., G.; VERAS, L.R.V. (1998). O uso da Filtração em Múltiplas Etapas no tratamento de águas com elevado teor de algas. *Anais do VIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 1. p. 11-27.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em:

<http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/legislacao/portariasMinisteriais/2011/Port_2914_GM_MS_2011.pdf>. Acesso em 19 de junho de 2012.

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB)/DF. Disponível em <<http://www.caesb.df.gov.br/index.php/agua/sistemas-de-abastecimento.html>>. Acesso em 18 de agosto de 2012.

DULLEMONT, Y.J.; SCHIJVEN, J.F.; HIJNEM, W.A.M.; COLIN, M.; MAGIC-KNEZEV, A.; OORTHUIZEN, W.A. (2006) Removal of microorganisms by slow sand filtration. In: Recent Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes. IWA Publishing, London, UK, p. 12-20.

HELLER, L.; VIEIRA, M.B.C.M.; BRITO, L.L.A.; SALVADOR, D.P. (2006) Desempenho da Filtração Lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de *Cryptosporidium* sp, bactérias e sólidos: uma avaliação em instalação piloto. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, n. 1, p. 27-38.

JENKINS, M.W.; TIWARI, S.K.; DARBY, J. (2011) Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. *Water Research*, v. 45, n. 18, p. 6227-6239.

SÁ, J.C. (2006). *Influência das características da camada filtrante e da taxa de filtração na eficiência de remoção de Microcystis aeruginosa e Microcistina na filtração lenta em areia*. Tese de Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 186p.

SCHULER, P.F.; GHOSH, M.M.; GOPALAN, P. (1991) Slow sand and diatomaceous earth filtration of cysts and other particulates. *Water Research*, v. 25, n. 8, p. 995-1005.