

VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO EM FILTRO LENTO CONVENCIONAL E COM CARVÃO ATIVADO

Ariston Silva Melo Júnior ¹

RESUMO

A proteção e o uso adequado das fontes de água potável no planeta devem ser buscadas de forma exaustiva para a conservação da vida na terra. O processo de industrialização e crescimento demográfico acaba por tornar ainda mais preocupante a manutenção das reservas hídricas para garantir o desenvolvimento sustentável. Frente a esse desafio, cada vez mais os ramos da engenharia ligados à área ambiental vêm desenvolvendo novos métodos de tratamento do esgoto de forma a alcançar a manutenção da água para as futuras gerações. Entre as novas tecnologias em estudo tem-se o sistema de filtração lenta que a partir da utilização de reservatórios com camadas de areia e pedra de tamanhos distintos possibilitam por processos físico-químicos a depuração do esgoto. A presente pesquisa buscou monitorar e avaliar a concentração de oxigênio dissolvido em um sistema de filtros lentos com e sem carvão ativado projetado e instalado na UNICAMP. Durante as nove semanas de estudo os resultados alcançados foram de eficiência no ganho de oxigênio dissolvido no filtro com e sem carvão ativo de 90,67% e 49,50%, respectivamente.

Palavras-chave: Filtro lento; Reuso; Sustentabilidade; Esgoto Doméstico.

VARIATION OF OXYGEN CONCENTRATION DISSOLVED IN CONVENTIONAL SLOW FILTER WITH ACTIVATED COAL

ABSTRACT

The protection and proper use of drinking water sources on the planet should be pursued in an exhaustive way for the conservation of life on earth. The process of industrialization and population growth have made the maintenance of water reserves even more worrisome to ensure sustainable development. Faced with this challenge, more and more the engineering branches related to the environmental area have been developing new methods of treatment of the sewage in order to reach the maintenance of water for future generations. Among

¹ FMU/professor e Ex-coordenador de curso. Pós-Doutor em Materiais Cerâmicos pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen) da USP. Mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas (2002) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2006) e Pós-Doutorado em Engenharia pela UNICAMP. Pesquisador colaborador da Universidade Estadual de Campinas. E-mail: juniorariston@gmail.com

the new technologies under study is the slow filtration system which, through the use of reservoirs with layers of sand and stone of different sizes, enables the purification of sewage by physico-chemical processes. The present research sought to monitor and evaluate the concentration of dissolved oxygen in a system of slow filters with and without activated carbon designed and installed in UNICAMP. During the nine weeks of study, the results obtained were of efficiency in the gain of oxygen dissolved in the filter with and without active carbon of 90.67% and 49.50%, respectively.

Keys Words: Slow filter; Reuse; Sustainability; Domestic sewage.

1. INTRODUÇÃO

A distribuição irregular de água no planeta faz com que se torne vital a manutenção das fontes potáveis. Poucos países no mundo como o Brasil possuem grandes reservas de água, mas apesar de sua condição aparentemente confortável, não pode ficar alheio a essa questão uma vez que os recursos hídricos brasileiros não estão distribuídos de forma homogênea, concentrando nas regiões de menor densidade demográfica, fazendo com que muitas regiões brasileiras convivam com problemas de falta de água.

Na grande maioria das regiões onde a água é escassa, a demanda é maior que a oferta ou ainda possui qualidade imprópria, devido ao lançamento de efluentes de esgotos domésticos e industriais nos mananciais.

A escassez de água de boa qualidade, aliada a políticas de regulamentações e de cobrança pelo uso da água tem conduzido a uma busca cada vez maior por soluções que visem à reutilização de efluentes de esgotos domésticos ou industriais para uso em atividades menos nobres, recebendo a denominação de reuso.

O reuso hídrico tornou-se cada vez mais atrativo para o setor industrial e agrícola, uma vez que a estabilização do lodo e decaimento dos agentes tóxicos faz com que seja possível um desenvolvimento sustentável e equilibrado, mantendo o ciclo hídrico.

Existem diversas tecnologias disponíveis que melhoram a qualidade da água ou de efluentes adequando-os às necessidades para que seja exigido.

Algumas dessas tecnologias são, contudo, caras e sofisticadas, necessitando de grandes investimentos para implantação e para operação, tornando inviável sua aplicação para pequenas comunidades, principalmente localizada em regiões carentes de recursos financeiros, tecnológicos ou de mão de obra especializada.

Nessas situações o emprego de tecnologias simples e com baixo custo traz uma esperança e a possibilidade de viabilizar o reuso de efluentes e minimizar os impactos sobre os recursos hídricos.

O sistema de filtros lentos, por exemplo, foi desenvolvido inicialmente no século XIX por John Gibb em Paisley (Escócia) e por James Simpson na cidade de Londres na Inglaterra (PATERNIANI, 1991). Em Londres o processo se baseava principalmente na remoção de sólidos suspensos da água bruta (PATERNIANI, 1991).

Segundo Melo Júnior (2005) já em 1850 John Snow mostrou que o cólera que era transmitido pela água podia ser eliminada pela técnica, o que se tornou uma solução para evitar a transmissão do agente.

O presente estudo objetivou pesquisar o desempenho da concentração de oxigênio dissolvido (O.D) em um sistema de filtro lento.

2. CLASSIFICAÇÃO HÍDRICA

A qualidade de uma água é definida por sua composição química, física e bacteriológica. As características desejáveis de uma água dependem de sua utilização.

Para o consumo humano há a necessidade de uma água pura e saudável, isto é, livre de matéria suspensa visível, cor, gosto e odor, de quaisquer organismos capazes de provocar enfermidades e de quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos fisiológicos prejudiciais (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991).

A qualidade da água deve atender, no mínimo, os padrões exigidos para a finalidade a que estará sendo destinada.

Devido às limitações de tecnologia, recursos financeiros e mananciais disponíveis as águas que não são destinadas para abastecimento público, regulamentado pelo padrão de potabilidade da Portaria nº 518/2004 do

Ministério da Saúde podem ter qualidade inferior, conforme a finalidade a que é destinada.

Os compostos orgânicos dissolvidos ou particulados presentes, em baixa concentração, em águas de abastecimento contribuem para o crescimento de bactérias heterotróficas que utilizam o carbono orgânico para produzir material celular ou para obter energia.

Quando estes compostos não são removidos durante o processo de tratamento de água, podem contribuir para acelerar a taxa de corrosão na tubulação, aumentar a incidência de doenças causadas por bactérias, comprometer a eficiência do residual para desinfecção e aumentar a formação de precursores da desinfecção (EDZWALD *et al.*, 1985).

Além do padrão de potabilidade, do Ministério da Saúde, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da resolução 357/2005, estabelece padrões para classificação dos corpos d'água conforme os usos a que se destinam (Tabela 1) e também para o lançamento de efluentes nesses corpos para evitar a alteração das características de montante do corpo receptor, com o objetivo de preservação dos mananciais superficiais.

Tabela 1 - Classificação das Águas Doces em função dos Usos pelo CONAMA 357/2005.

USO	CLASSES				
	Especial	I	II	III	IV
Abastecimento Doméstico	X ^(e)	X ^(a)	X ^(b)	X ^(b)	
Preservação das Comunidades Aquáticas	X				
Recreação de Contato Primário		X	X		
Proteção de Comunidades Aquáticas		X	X		
Irrigação		X	X ^(c)	X ^(d)	
Aquicultura		X	X		
Lançamento de Despejos		X	X	X	X
Dessedentação de Animais				X	
Navegação					X
Harmonia Paisagística					X
Usos menos Exigentes					X

(a) após tratamento simples, (b) após tratamento convencional, (c) hortaliças e plantas frutíferas, (d) culturas arbóreas, cerealistas e forrageiras (e) após desinfecção.

3. REUSO HÍDRICO

Reuso é o processo de utilização da água por mais de uma vez, tratada ou não, para o mesmo ou outro fim.

A grande vantagem da utilização da água de reuso é a de preservar água potável exclusivamente para atendimento de necessidades que exigem a sua potabilidade, como para o abastecimento humano.

Dentro dessa ótica, os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação, entre outros.

Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, sem dúvida o uso de esgotos contribui para a conservação dos recursos e acrescenta uma dimensão econômica ao planejamento dos recursos hídricos (MACHADO, 2004).

O reuso de águas para irrigação localizada vem crescendo pela possibilidade de automatização dos sistemas e também pela economia de água em relação aos métodos de irrigação convencional.

A implementação bem sucedida de um projeto de reuso de água deve depender da consideração de múltiplos fatores, incluindo saúde pública, aceitação popular, quantidade e qualidade de água requerida, suprimento confiável e variabilidade de demanda e aspectos econômicos.

Em um ambiente urbano, vários níveis de qualidade da água correspondem a diferentes usos, incluindo água para beber, para higiene pessoal, para irrigação de culturas e para limpeza urbana e industrial.

O transporte e a distribuição da água recuperada têm uma influência significativa na viabilidade econômica, especialmente em comunidades com densidade populacional de baixa a moderada.

A tendência é de que fatores complexos de economia e riscos para a saúde pública tenham um papel principal no processo de tomadas de decisões (HERMANOWICZ e ASANO, 1999).

4. FILTRAÇÃO LENTA

A Filtração Lenta é uma tecnologia bastante adequada para pequenas comunidades, estruturas populacionais em áreas rurais e assentamento de porte reduzido, principalmente de países em desenvolvimento e pode ser associada a sistemas de pré-tratamento, bem como a sedimentação simples com o uso de coagulantes naturais [FUNASA (2004); Von SPERLING (1996)].

Solução apropriada para muitos países como o Brasil, que possui regiões de acentuadas diferenças sócio-econômicas, pois as tecnologias de tratamento de coagulação química e filtração rápida requerem pessoal técnico qualificado para operação e muitas vezes o material para construção, os equipamentos e os produtos químicos têm de ser adquiridos em locais distantes.

As primeiras instalações de tratamento, com passagem de água através de meio granulares foram construídas no início do século XIX por John Gibb, em Paisley, Escócia, e por James Simpson, em Londres, Inglaterra (MARRARA, 2005).

O primeiro construiu um filtro de areia para servir sua indústria de branqueamento de tecido e o segundo projetou e construiu uma estação de filtração lenta para a Chelsea Water Company, destinada ao abastecimento da cidade de Londres, visando principalmente à remoção de sólidos suspensos da água bruta (MARRARA, 2005).

Em meados do século XIX, Londres contava com oito estações de tratamento que empregavam a filtração lenta na água captada no rio Tamisa.

A prova concreta da eficiência da filtração lenta em remover microrganismos, além se sólidos suspensos e outras impurezas, ocorreu em 1892, pela experiência vivenciada por duas comunidades vizinhas, Hamburgo e Altona, situadas na Alemanha, as quais utilizavam o rio Elba como fonte de abastecimento.

O tratamento em Hamburgo consistia em sedimentação simples, enquanto em Altona havia filtros lentos de areia. Com a contaminação do rio Elba, houve uma epidemia de cólera que causou a morte de 7500 pessoas em Hamburgo, o que não aconteceu em Altona.

Epidemias subsequentes em várias partes do mundo confirmaram a importância da filtração antes do consumo de água. (DI BERNARDO, 1993).

Em 1885, surgiu a primeira unidade mecânica de filtração nos E.U.A. e em 1899 os filtros automáticos de pressão na Inglaterra. Desde então os filtros foram classificados em lentos e rápidos, e de forma extensa os rápidos passaram a ser usados em grande escala.

A filtração lenta, porém continua a ser utilizada devido à sua simplicidade, eficiência e segurança no tratamento de água para abastecimento, principalmente em pequenas cidades do interior do Brasil (DI BERNARDO, 1989).

A figura 1 apresenta um esboço de um filtro lento de areia dentro das características básicas de implementação.

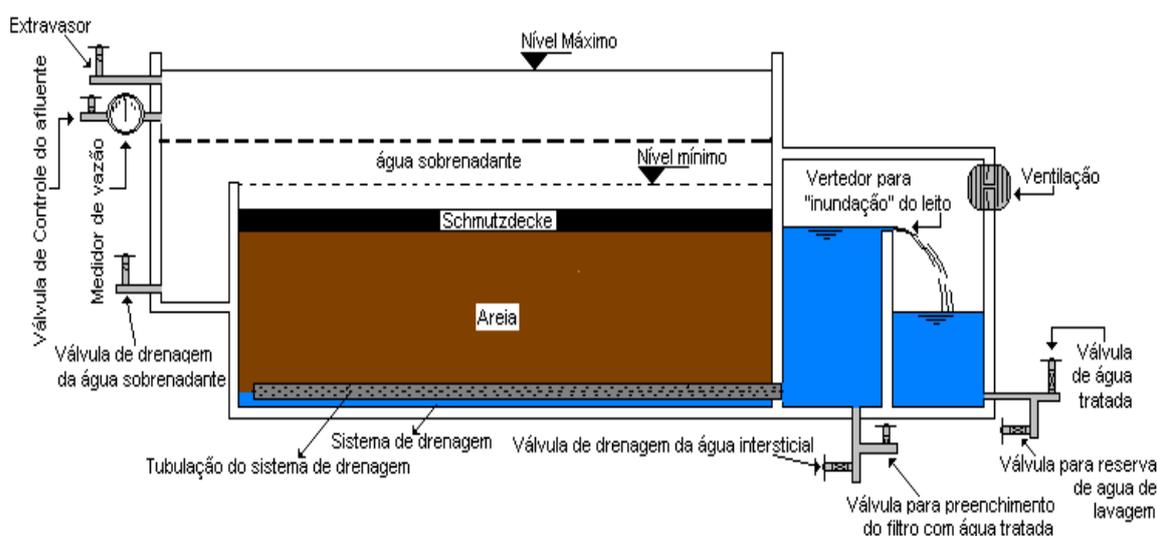


Figura 1. Corte transversal de um sistema de filtro lento de areia (MELO JÚNIOR, 2005).

5. CONCENTRAÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) EM ESGOTO DOMÉSTICO

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) é o elemento principal no metabolismo dos microrganismos aeróbios que habitam as águas naturais ou os reatores para tratamento biológico de esgotos (METCALF e EDDY, 1991).

Nas águas naturais, o oxigênio é indispensável também para outros seres vivos, especialmente os peixes, onde a maioria das espécies não resiste a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferiores a $4,0 \text{ mg.L}^{-1}$. É, portanto, um parâmetro de extrema relevância na legislação de classificação das águas naturais, bem como na composição de índices de qualidade de águas (KADLEC e KNIGHT, 1996).

No índice de qualidade de águas utilizado no Estado de São Paulo pela CETESB, a concentração de oxigênio dissolvido é um parâmetro que recebe uma das maiores ponderações (PIVELI, 2010).

Segundo Piveli (2010) a concentração de oxigênio dissolvido é também o parâmetro fundamental nos modelos de autodepuração natural das águas. Nestes modelos, são balanceadas as entradas e saídas de oxigênio em função do tempo nas massas líquidas, de modo a prever-se sua concentração em seus diversos pontos, o que pode ser utilizado, por exemplo, para se estimar as eficiências necessárias na remoção de constituintes orgânicos biodegradáveis pelas estações de tratamento de esgotos a serem construídas.

Piveli (2010) afirma ainda que a determinação da concentração de oxigênio dissolvido em águas é também imprescindível para o desenvolvimento da análise da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que representa o potencial de matéria orgânica biodegradável nas águas naturais ou em esgotos sanitários e muitos efluentes industriais.

Em última instância, este teste bioquímico empírico se baseia na diferença de concentrações de oxigênio dissolvido em amostras integrais ou diluídas, durante um período de incubação de 5 dias a 20°C . O que se “mede” de fato nesta análise é a concentração de oxigênio dissolvido antes e depois do período de incubação (DI BERNARDO, 1999).

6. METODOLOGIA

6.1. Estudo de Caso

O estudo do desempenho da concentração de oxigênio dissolvido (OD) foi realizado na estação piloto de tratamento de filtro lento, de três compartimentos, localizado no campo experimental da Faculdade de Engenharia

Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) que trata o esgoto doméstico da FEAGRI.

A pesquisa ocorreu no período de 2 de janeiro de 2019 até 2 de março de 2019 com coletas de amostras, às 14 horas, de entrada (afluente) e saída (efluente) dos filtros lento convencional e com camada adicional de carvão ativado.

As amostras de afluente e efluente totalizaram 27 coletas em garrafas de PET que foram armazenadas à 5°C para posterior análise de OD pelo método NTS 012, a ser comentado posteriormente.

7. CONSTITUIÇÃO GERAL DO SISTEMA DE FILTRAÇÃO LENTA

O sistema possui três compartimentos, sendo eles: pré filtro, filtro de areia com brita e filtro de areia, brita e carvão ativado.

Cada compartimento em formato cilíndrico tem altura (h) útil 1,20 m e base diametral (D) 0,60 m.

O sistema possui uma caixa de distribuição para escoar todo efluente do primeiro compartimento (pré filtro) para os demais compartimentos que são os filtros lentos.

A figura 2 apresenta uma visão geral do sistema piloto de tratamento alternativo por filtração lenta.



Figura 2. Vista da estação de filtro lento da FEAGRI. O tempo de tratamento é influenciado pela carga de detenção hidráulica (θ_h) que permiti estabilizar o esgoto doméstico. Dessa forma, sendo importante determinar a estimativa de estabilização a partir das características do projeto adotado.

Para tanto, utilizando os conceitos da geometria espacial determinou-se o volume de cada compartimento com base na altura (h) e diâmetro (D) a partir da equação 1.

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$

Equação 1

A partir das variáveis aplicadas a equação 1 o volume de cada compartimento foi de 0,34 m³.

Com o volume determinado o passo seguinte foi determinar a carga de detenção hidráulica (θ_h) a partir da vazão (Q) de captação ajusta em 5.10⁻⁵ m³.s⁻¹. Assim com os valores de volume (V) e vazão (Q) a carga de detenção hidráulica (θ_h) foi determinada pela equação 2 de Porto (1999).

$$\theta_h = \frac{V}{Q}$$

Equação 2 (PORTO, 1999)

O valor obtido foi de 7,87.10⁻² dias que ajustando pelo processo e análise dimensional resultou em 2 horas.

8. PRÉ FILTRO DE ENTRADA

O pré-filtro tem como características as apresentadas pelo esboço em corte na figura 3, onde se tem a divisão interna das camadas de tratamento. A função do pré-filtro é realizar uma depuração inicial do efluente de modo a recrudescer a eficiência do tratamento.

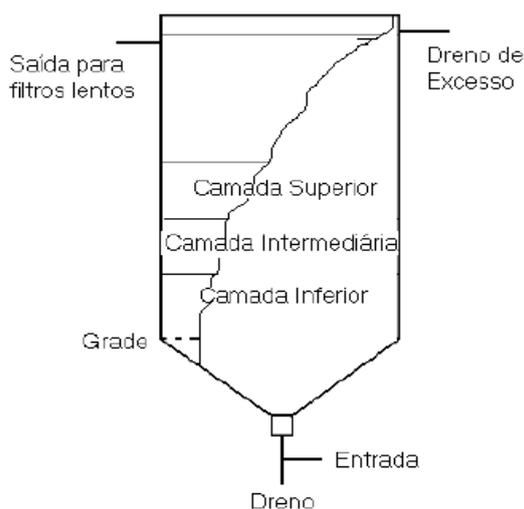


Figura 3. Corte da câmara que compõem o pré filtro. No pré filtro as camadas tem variação a partir da granulometria do meio suporte areia e brita utilizado (figura 3).

A tabela 2 apresenta a dimensão de cada material suporte por camada.

Tabela 2.

Granulometria e Espessura inter-camadas do pré filtro.

	Material Granular (mm)	Espessura (cm)
Camada superior	3,2 a 6,4	25 cm
Camada intermediária	6,4 a 19,0	25 cm
Camada Inferior	19,0 a 31,0	25 cm

A figura 4 apresenta uma visão geral do pré-filtro e seus componentes.



Figura 4. Entrada do pré filtro.

9. FILTROS DE AREIA

O sistema de filtros lento de areia foi composto de duas câmaras de mesmo volume que no pré filtro. Para uma das câmaras foi utilizado um sistema com adição de carvão ativado, enquanto o outro não possui essa camada adicional.

Para o projeto foi utilizada a adoção recomendada por FERRAZ e PATERNIANI (2002), sendo as características de projeto:

- Primeira camada de areia com 40 cm de espessura;
- Segunda camada com material pedregoso (brita 1), de granulometria de 5 mm em uma espessura de 20 cm na câmara;
- Terceira camada de brita 2 (granulometria 31,5 mm) em espessura de 20 cm.

Com relação à câmara com adição de uma camada de carvão ativado, a espessura no interior foi de 10 cm e a dimensão dos grãos de carvão ativado possui 8,5 mm.

10. MÉTODO APLICÁVEL PARA ANALISE DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO (O.D)

O método de determinação da concentração de oxigênio dissolvido (O.D) utilizado foi da norma NTS 012 da SABESP, denominado método eletrométrico.

O método é muito usual para monitoramento contínuo em reservatórios e unidades de tratamento de esgoto, podendo ser utilizado também em laboratório.

11. PRINCÍPIO FUNCIONAL DO MÉTODO ELETROMÉTICO (NTS 012)

O método NTS 012 desenvolvido pela SABESP permite um processo apurado e de acuidade das concentrações de OD. No método, o medidor de oxigênio possui uma célula eletrolítica, com um cátodo de platina e um ânodo de prata. Ambos separados e imersos em um eletrólito, geralmente Sulfato de Sódio (NaSO_4), e o conjunto isolado por membrana de polietileno ou PTFE, permeável a gases, especialmente o oxigênio molecular (NTS 012, 2011).

Para determinação do OD aplica-se uma diferença de potencial de polarização entre o ânodo e o cátodo. O oxigênio da amostra difunde-se através da membrana, reduzindo-se no cátodo e formando no ânodo o produto da oxidação. A corrente resultante é linear e proporcional à concentração de oxigênio. A unidade de concentração pode ser medida diretamente através de procedimento de calibração (NST 012, 2011).

O consumo do oxigênio pela célula resulta da extração do oxigênio da solução nas proximidades da membrana. O oxigênio é então extraído por difusão, não permitindo a obtenção real da sensibilidade na leitura. Sendo assim, é necessário que se faça uma agitação na solução para que o oxigênio seja extraído tanto por difusão como por convecção, conseguindo-se com isso um acréscimo na taxa de sensibilidade (NTS 012, 2011).

O método experimental utilizou:

- Analisador de oxigênio dissolvido e agitador;
- Frasco de DBO (300 ml) com tampa.
- Cloreto de Cobalto (CoCl_2);
- Eletrólito específico;
- Sulfito de Sódio (Na_2SO_3).

As amostras de água de superfície foram retiradas através de imersão cautelosa do frasco de DBO para evitar borbulhamento. Tal preocupação se baseou de modo que não se ocorresse interferência oxidativa. Adotou-se o sistema de eletrodo coberto por membrana para minimiza os problemas relacionados a depósitos de impurezas, que poderiam causar perda de sensibilidade devida impregnação, isto porque a membrana plástica permeável ao oxigênio forma uma barreira contra estas impurezas (NST 012, 2011).

12. RESULTADOS

O processo de estudo da relação de concentração de oxigênio dissolvido (O.D) para os filtros convencional e com camada adicional de carvão ativado foram analisados pelo método NTS 012 e plotados para avaliar o desempenho da concentração de O.D conforme pode-se observar na figura 5.

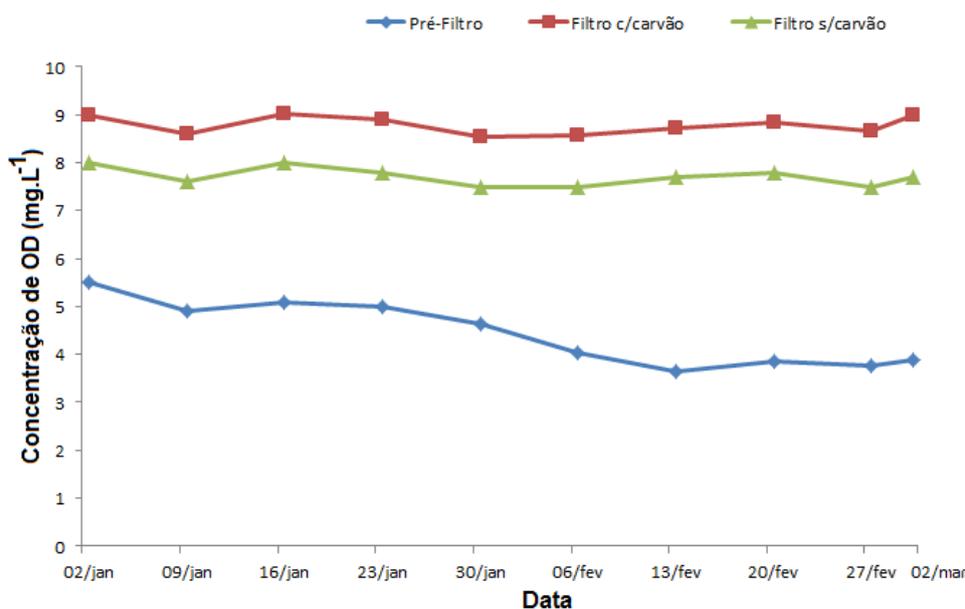


Figura 5. Gráfico do desempenho da concentração OD no sistema de leitos.

A partir da figura 5 pode-se verificar que o processo de filtração lenta proporcionou um ganho considerável na concentração de OD de modo a melhorar a potabilidade das águas residuárias.

A adoção de camada adicional de carvão ativado teve uma melhora ainda superior ao filtro convencional. Sendo que enquanto a aeração e ganho em OD no filtro lento sem carvão ativado flutuou num intervalo de 8 mg.l⁻¹, o filtro com carvão teve um ganho por volta de 9 mg.l⁻¹, conforme a figura 5 retratou.

Ainda com relação à figura 5 se verificar os valores em relação à concentração de OD de entrada, antes da depuração, tem-se que o desempenho nos filtros pode ser verificado em valores percentuais semanais apresentados pela tabela 3, a seguir.

Tabela 3.

Avaliação percentual da concentração de oxigênio dissolvido nos filtros.

Data	Filtro sem carvão (%)	Filtro com carvão (%)
02/01/2019	38,9	85,9
09/01/2019	43,0	88,6
16/01/2019	43,4	88,2
23/01/2019	43,8	88,6
30/01/2019	45,6	89,8
06/02/2019	52,8	92,3
13/02/2019	58,0	93,7

Data	Filtro sem carvão (%)	Filtro com carvão (%)
20/02/2019	56,4	93,2
27/02/2019	56,4	93,3
02/03/2019	56,7	93,1
Média	49,50%	90,67%

Pelos valores semanais de estudo ao se verificar o potencial de depuração médio quanto ao ganho de concentração de OD, tem-se que para o filtro lento sem carvão ativado o valor médio foi de 49,50%, enquanto que com incremento de camada adicional de carvão ativado o valor médio percentual foi de 90,67%.

Sem dúvida ao se avaliar as concentrações otimizadas de presença de oxigênio dissolvido (OD) geradas graças ao processo de aeração interna no filtro lento, pode-se ver um incremento importante que valida a adoção de técnicas alternativas como a filtração lenta, possibilitando a geração de um efluente com qualidade a processos de irrigação controlada, como para culturas de gramíneas perenes, entre elas: cana-de-açúcar e grama batatais (FMS, 2004).

13. CONCLUSÃO

Os resultados preliminares do sistema de filtração lenta mostraram um grande avanço no tratamento de esgoto doméstico.

O ganho de oxigênio obtido pelo processo de filtração lenta é um dos primeiros e importantes passos para a melhora na qualidade dos recursos hídricos, sendo inclusive âmbito de regulamentação pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) a partir da resolução 357 para corpos d'água.

O processo de depuração por sistemas alternativos como a filtração lenta mostra-se uma ferramenta importante para estudo na diminuição do impacto ambiental e preservação dos recursos hídricos.

BIBLIOGRAFIA

AZEVEDO NETTO, J.M. & HESPANHOL, I. **Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água**. Cap. 23: Filtração Lenta, São Paulo: CETESB, 20 ed., vol 2, p.869-882., 1987.

CONAMA Nº 357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

DI BERNARDO, L. - **Tratamento de águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas.** ABES/ PROSAB. Rio de Janeiro. 1999.

DI BERNARDO, L. **Filtração lenta e pré-filtração de águas de abastecimento.** Apostila, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 1989.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Vol. 2 Rio de Janeiro: ABES, 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** 2. ed. São Carlos: Rima, 2005.

EDZWALD, J. K., BECKER, W. C., WATTIER, K. L. Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors, Journal American Water Works, abril, p.122-132. 1985.

FERRAZ, F.C., PATERNIANI, J.E.S., Redução da Espessura da Camada Suporte através da Substituição por Mantas Sintéticas Não Tecidas na Filtração Lenta de Água de Abastecimento **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental** – ABES, Vol 7, nº 6 e 7, pg 8 – 15, Jan/Jun 2002.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE; Portaria no 518; Padrão de Potabilidade de Água para Consumo Humano – Ministério da Saúde, 2004.

HERMANOWICZ, S.W. and ASANO, T. Abel Wolman's **The Metabolism of cities** revisited: a case for water recycling and reuse. Water Science and Technology, Vol. 40, No. 4-5, pp. 29-36, 1999.

MARRARA D. A. **Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso.** Dissertação de Mestrado. UNICAMP. 117p. 2005.

MACHADO, J. C. S. **Reuso da água doce.** Ambientebrasil. Disponível em: [http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base+./água/doce/index.html&conteu ...](http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base+./água/doce/index.html&conteu...) 5/1/2016. 2004.

MABWETTE, T.S.A. & GRAHAM, N.J.D. Improving the efficiency of slow sand filtration and separation with non-woven synthetic fabrics. **In: Filtration and separation**, vol. 24.1987.

MELO JÚNIOR, A. S. **Projeto de Filtro Lento**. Apostila. UNICAMP. 2005.

METCALF e EDDY, **Wasterwater engineering – treatment, disposal and reuse**. New York: McGraw Hill Inc, 3ª edição, 1991.

NTS 012 – **OD: Análise de Oxigênio Dissolvido (OD) – Método Eletrométrico**. Norma Técnica Interna SABESP, 2001.

PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento**. Tese de doutoramento, EESC - USP, 1991.

PATERNIANI, J.E.S.; CONCEIÇÃO, C.H.Z. **Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades**. Revista de Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v.1, n.1, p.000-000, jan./dez., 2002.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**, 2 edição, EESC – USP, 1999.

Portaria 1469. **NORMA DE QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**. 29/12/2000.

PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (PROSAB). **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

PIVELI. R. P. QUALIDADE DAS ÁGUAS E POLUIÇÃO: ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS. Apostila. Curso: **OXIGÊNIO DISSOLVIDO E MATÉRIA ORGÂNICA EM ÁGUAS**. 2010.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M.; **Tratamento de água** – Tecnologia atualizada, São Paulo, p. 24-8, 286-7, 1991.

SPERLING, M.V., **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, DESA/UFMG, Belo Horizonte, vol.1, 243p, 1996.

Recebido em: 07/08/2019

Aceito em: 11/11/2019