

I-061 - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TAXA DE FILTRAÇÃO NO DESEMPENHO DE PRÉ-FILTROS DE PEDREGULHO NO TRATAMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Gustavo Marques Calazans Duarte⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Sanitária UFRN.

Marco Antonio Calazans Duarte⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo.

Ada Cristina Scudelari⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Doutora em Engenharia Civil - COPPE/UFRJ.

Endereço⁽¹⁾: Rua Joaquim Inácio, 1675 - Tirol - Natal - RN - CEP: 59022-180 - Brasil - Tel: (84) 9 9992-1901
e-mail: gustavomcalazans@live.com

RESUMO

Existem estações de tratamento de água (ETA) que operam com sobrecarga hidráulica, exemplo disso é a ETA Extremoz, situada no estado Rio Grande do Norte, opera com sobrecarga hidráulica de 30% em relação a vazão de projeto. Apesar do projeto indicar a tecnologia de ciclo completo, a ETA Extremoz opera com a tecnologia de filtração direta e as estruturas dos floculadores e decantadores funcionam como caixas de passagem e nesse cenário, a construção do segundo módulo na tecnologia de ciclo completo não é viável econômica e tecnicamente. A reforma das estruturas atualmente inoperantes para funcionarem como câmaras de pré-oxidação (floculadores) e filtros ascendentes de pedregulho (FAP) (decantadores) ou seja, a adaptando da tecnologia de ciclo completo para dupla filtração (DF) com pré-filtro de pedregulho e filtro rápido de areia (FDA), é alternativa que resulta em significativa economia financeira e espacial para uma possível ampliação da ETA. Existem estações de tratamento de água – ETA que operam com sobrecarga hidráulica, exemplo disso é a ETA RN (nome fictício), situada no estado Rio Grande do Norte, a qual opera com sobrecarga hidráulica de 30% em relação a vazão de projeto (500 L/s). Apesar do projeto indicar a tecnologia de ciclo completo, a ETA RN opera com a tecnologia de filtração direta e as estruturas dos floculadores e decantadores funcionam como caixas de passagem e nesse cenário, a construção do segundo módulo na tecnologia de ciclo completo não é viável econômica e tecnicamente. A reforma das estruturas atualmente inoperantes para funcionarem como câmaras de pré-oxidação (floculadores) e filtros ascendentes de pedregulho - FAP (decantadores) ou seja, a adaptando da tecnologia de ciclo completo para dupla filtração - DF com pré-filtro de pedregulho e filtro rápido de areia (FDA), é alternativa que resulta em significativa economia financeira e espacial para uma possível ampliação da ETA. O objetivo deste trabalho é avaliar em instalação piloto as condições operacionais para adequação da ETA RN para a tecnologia de dupla filtração, mantendo e aproveitando a estrutura existente da ETA e verificar o comportamento dos filtros de pedregulho como pré-filtro no tratamento para a vazão de água atual e futura. A partir das análises dos dados obtidos concluiu-se que apesar do desempenho semelhante aos demais FAP, o pré-filtro FAP3 apresentou melhor eficiência e as menores médias de turbidez e cor aparente remanescentes e o FAP1 foi o de pior desempenho. Foram verificados picos de turbidez na água pré-filtrada após as descargas de fundo intermediária (DFI) e na água filtrada após a lavagem dos filtros de pedregulho. A elevação da taxa de filtração não influenciou o desempenho dos pré-filtros, entretanto taxas de filtração entre 200 e 300 m³.m².dia⁻¹ foi a faixa escolhida. O FAP se mostrou equalizador na qualidade da água afluente dos filtros de areia.

PALAVRAS-CHAVE: Dupla filtração, granulometria de filtros. aumento de capacidade de produção de ETA, melhoria da qualidade de efluentes de ETA.

INTRODUÇÃO

Existem estações de tratamento de água – ETA que operam com sobrecarga hidráulica, exemplo disso é a ETA RN (nome fictício), situada no estado Rio Grande do Norte, a qual opera com sobrecarga hidráulica de 30% em

relação a vazão de projeto (500 L/s). Apesar do projeto indicar a tecnologia de ciclo completo, a ETA RN opera com a tecnologia de filtração direta e as estruturas dos floculadores e decantadores funcionam como caixas de passagem e nesse cenário, a construção do segundo módulo na tecnologia de ciclo completo não é viável econômica e tecnicamente.

A reforma das estruturas atualmente inoperantes para funcionarem como câmaras de pré-oxidação (floculadores) e filtros ascendentes de pedregulho - FAP (decantadores) ou seja, a adaptando da tecnologia de ciclo completo para dupla filtração - DF com pré-filtro de pedregulho e filtro rápido de areia (FDA), é alternativa que resulta em significativa economia financeira e espacial para uma possível ampliação da ETA.

O objetivo deste trabalho é avaliar em instalação piloto as condições operacionais para adequação da ETA RN para a tecnologia de dupla filtração, mantendo e aproveitando a estrutura existente da ETA e verificar o comportamento dos filtros de pedregulho como pré-filtro no tratamento para a vazão de água atual e futura.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

MATERIAIS E MÉTODOS

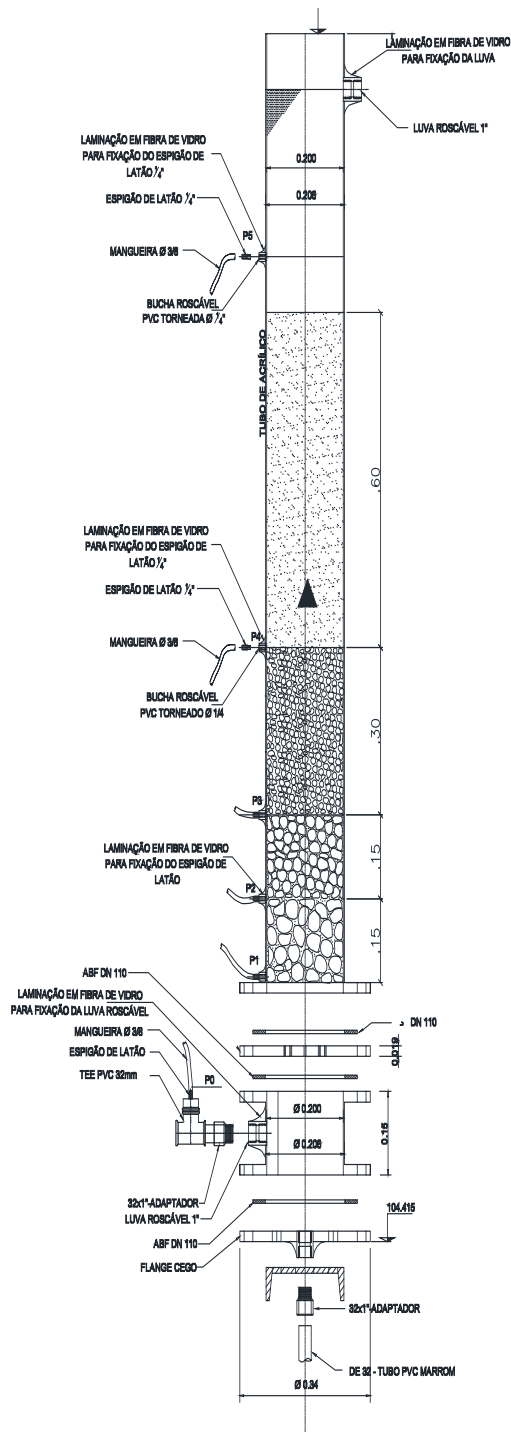
A Instalação Piloto de Dupla Filtração - IPDF na qual foram realizados os estudos, foi montada na ETA RN, em área coberta de 110 m², sendo composta por quatro câmaras de pré-oxidação, quatro filtros ascendentes de pedregulho - FAP e três filtros descendentes de areia - FDA. A IPDF dispõe de duas bombas dosadoras de diafragma para dosagem coagulante (PAC) e oxidante (isocianurato de sódio). O sistema de dupla filtração além de poder ser operado com diferentes taxas de filtração e granulometrias, possibilita diferentes arranjos de processos de tratamento tais como filtração direta em linha, filtração direta ascendente e dupla filtração - DF.

Os FAP e FDA têm diâmetros internos de 200 mm e 100 mm, respectivamente e foram construídos em fibra de vidro revestida com resina de poliéster, semitransparente. Para minimizar o efeito de parede no escoamento da água nos filtros foi impregnada na superfície interna dos mesmos uma camada de areia com grãos entre 0,60 e 1,00 mm sobre a resina fresca, conferindo rugosidade equivalente à superfície de concreto sem acabamento.

As características granulométricas das camadas filtrantes e suporte dos pré-filtros FAP estão descritas nas Tabela 1. Nos FAP a altura do leito era de 120 cm, sendo 60 cm de camada suporte e 60 cm de pedregulho estratificado em quatro granulometrias. A Figura 1 representa vista lateral dos FAP estudados.

Tabela 1 – Características das camadas suporte e filtrantes dos pré-filtros FAP.

Filtro	Camada filtrante	Tamanho dos grãos (mm)	Espessura (cm)
FAP 1	1 (fundo/suporte)	19,0- 25,4	15
	2	12,7- 19,0	15
	3	7,9- 12,7	30
	4 (topo)	4,8- 7,9	60
FAP 2	1 (fundo/suporte)	19,0- 25,4	15
	2	12,7- 19,0	15
	3	6,4- 12,7	30
	4 (topo)	3,2- 6,4	60
FAP 3	1 (fundo/suporte)	15,9- 25,4	15
	2	9,6- 15,9	15
	3	4,8- 9,6	30
	4 (topo)	2,4- 4,8	60
FAP 4	1 (fundo/suporte)	12,7- 19,0	15
	2	6,4- 12,7	15
	3	3,2- 6,4	30
	4 (topo)	2,0-3,2	60



Filtros de fluxo ascendentes de pedregulho (FAP)
Corte Vertical

esc 1:20

Figura 1 – Desenho esquemático dos filtros ascendentes de pedregulho.
Fonte: Adaptado de Duarte (2011)

A pesquisa consistiu em duas fases, a primeira avaliou o comportamento do tratamento pela tecnologia de DF nas taxas de filtração de 190, 210, 230 e 255 $m^3.m^{-2}.dia^{-1}$ para os FAP e 250, 280, 310 e 340 $m^3.m^{-2}.dia^{-1}$ para os filtros de areia em ensaios em instalação piloto com ensaios com oito horas de duração. Os resultados obtidos na primeira fase indicaram o FAP3 como o de melhor desempenho e que as taxas de filtração estudadas

não impactaram significativamente na qualidade do efluente filtrado. A partir daí, procedeu-se investigação mais detalhada no comportamento do FAP3 e nos filtros rápidos de areia, em ensaios em instalação piloto com taxa de filtração de 230 e 255 m³.m².dia⁻¹ para o FAP e 310 e 340 m³.m².dia⁻¹ para os FDA e ensaios com 24h de duração. Esse trabalho foca nos resultados obtidos nos ensaios de 24h.

O monitoramento da qualidade do efluente tratado foi realizado com frequência horária e com determinação de cor aparente e verdadeira, turbidez e pH, alcalinidade, clorofila a, sólidos totais, matéria orgânica natural (MON) e absorvância em 254 nm (ABS₂₅₄), tanto na água bruta como nos efluentes de cada unidade de filtração. **Error! Bookmark not defined.** A Tabela 2 apresenta resumo das características gerais dos ensaios com 24h de duração, os valores das colunas são máximos e mínimo observados, média aritmética está entre parênteses e após a barra (/) o valor do desvio padrão.

Tabela 2 – Características da água bruta nos ensaios da fase 2 com carreira de filtração de 24h.

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4
Tur	17 - 10,2 (12,4/1,9)	16 - 12 (14/1,5)	15 - 11 (12/1,1)	90 - 11 (21/21,9)
CA	42 - 33 (37/2,8)	49 - 39 (43/2,8)	48 - 33 (42/3,6)	105 - 34 (44/19,4)
Temp.	29,5 - 25,9 (27,2/1,2)	27,7 - 25,1 (26,5/0,8)	28,4 - 24,3 (26,6/1,3)	29 - 25 (26,5/1)
pH	8,6 - 8 (8,3/0,2)	8,4 - 7,8 (8,2/0,2)	8,4 - 7,2 (8,2/0,3)	8,4 - 8,1 (8,3/0,1)
CV	22 - 12 (15/2,9)	12 - 10 (11/0,5)	14 - 6 (11/2)	14 - 8 (11/1,3)
ABS ₂₅₄	0,187 - 0,169 (0,178/0,006)	0,175 - 0,163 (0,168/0,004)	0,178 - 0,163 (0,169/0,004)	0,162 - 0,14 (0,157/0,006)
MON	8,97 - 6,38 (7,59/0,97)	8,95 - 7,09 (7,71/0,49)	6,91 - 46 (6,91/0)	8,49 - 6,32 (7,44/0,63)
Alc	48,3 - 46 (47/1,2)	48,3 - 36,8 (45,8/2,9)	48,3 - 46 (46,2/0,6)	52,9 - 46 (49,2/1,8)
Cl a	0,28 - 0,04 (0,19/0,1)	0,21 - 0,03 (0,13/0,04)	0,25 - 0,12 (0,18/0,04)	0,48 - 0,09 (0,19/0,11)
ST	0,0191 - 0,0052 (0,0138/0,0043)	0,0218 - 0,0112 (0,017/0,0025)	0,0507 - 0,0091 (0,0192/0,0108)	0,0534 - 0,0155 (0,0251/0,0099)

LEGENDA/UNIDADES: Tur – turbidez (uNT); Alc – alcalinidade total (mg CaCO₃.L⁻¹); T – temperatura (°C); CA – cor aparente (uH); CV – cor verdadeira (uH); ABS₂₅₄ – absorvância em 254 nm (cm⁻¹); MON – matéria orgânica natural (mg O₂.L⁻¹); Cl a – clorofila a (µg.L⁻¹); ST – sólidos totais (mg.L⁻¹).

RESULTADOS

Desempenho dos pré-filtros e características dos efluentes

A turbidez e cor aparente remanescentes dos pré-filtros estiveram quase sempre acima de 2,00 uT e 15 uH superiores aos valores máximos estabelecidos na PRC n° 5, de 28 de setembro de 2017, Anexo XX.

Foram avaliados os desempenhos das unidades de filtração quanto à remoção de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, ABS₂₅₄ e MON. As eficiências para o pré-filtro variaram de 13% até 63%.

A Figura 2 é o resultado gráfico elaborados por análise de variância (ANOVA) para avaliar a possível influência da taxa de filtração na eficiência de remoção de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, ABS₂₅₄ e MON para o pré-filtro estudado, FAP3.

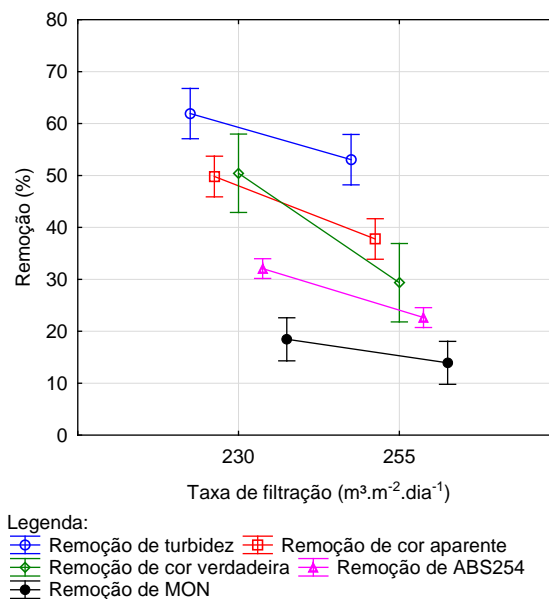


Figura 2 – Influência da taxa de filtração e granulometria na remoção da turbidez, cor aparente, ABS₂₅₄ e MON do FAP3.

A taxa de filtração afetou o desempenho de FAP3 que consistentemente mostrou diminuição nas remoções, com o crescimento da velocidade de aproximação. Com taxa de filtração de 230 m³.m⁻².dia⁻¹ (E1 e E2) as remoções médias de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, ABS₂₅₄ e MON resultaram em médias de 62%, 50%, 50%, 32% e 19%, respectivamente, e operando na taxa de 255 m³.m⁻².dia⁻¹ (E3 e E4) o rendimento do FAP3 diminuiu para 53%, 38%, 29%, 23% e 14%, respectivamente.

As Figuras 3, 4, 5 são resultados gráficos do tipo diagrama de caixa e mostram as eficiências de remoção média da turbidez, cor aparente, cor verdadeira, ABS₂₅₄ e MON para cada unidade de filtração e taxa de filtração estudada.

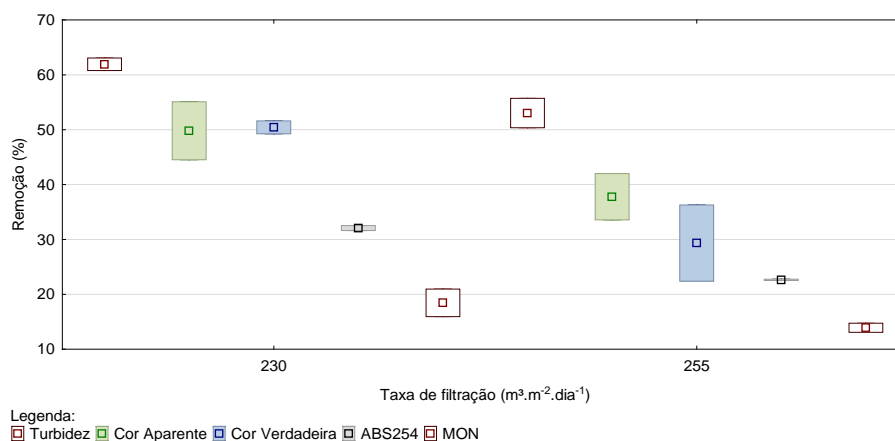


Figura 3 – Resultados da remoção da turbidez, cor aparente, ABS₂₅₄ e MON pelo FAP3.

Analisando a Figura 2, pode-se perceber que de um modo geral o aumento da taxa de filtração no FAP alterou significativamente ($p=0,000000$) a remoção de cor aparente, cor verdadeira e ABS₂₅₄. As remoções de turbidez e MON não foram afetadas pela variação da taxa de filtração.

Quando comparado com os FDA, de acordo com o resultado das ANOVA, não há diferença significativa ($p=0,0000$ para as duas taxas de filtração) dos filtros de areia em relação a remoção de turbidez, cor aparente, cor verdadeira e ABS₂₅₄ e MON. Mas entre o FAP e os FDA existe diferença significativa. Ou seja, para as

taxas de filtração estudadas a granulometria dos FDA não gera efluentes com qualidades estatisticamente distintas entre si.

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados em forma gráfica da análise de variância a qual avalia a influência da granulometria no desempenho do FAP e FDA.

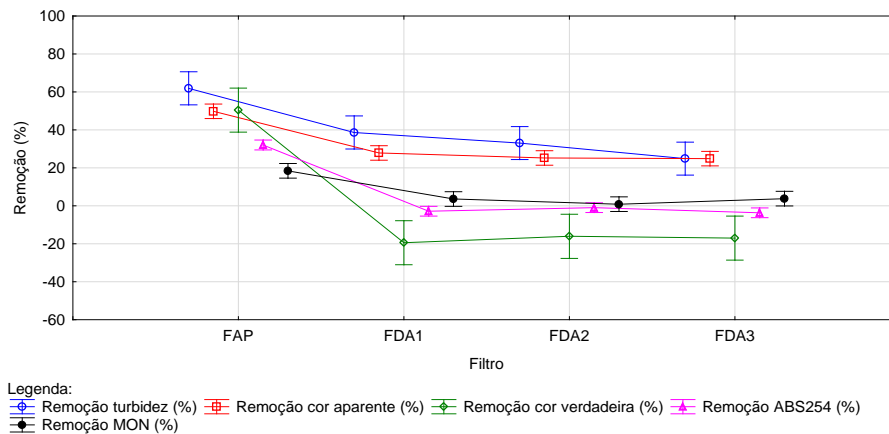


Figura 4 – Influência da granulometria na remoção da turbidez, cor aparente, ABS₂₅₄ e MON pelo FDA3 para taxa de filtração 230/310 m³.m⁻².dia⁻¹.

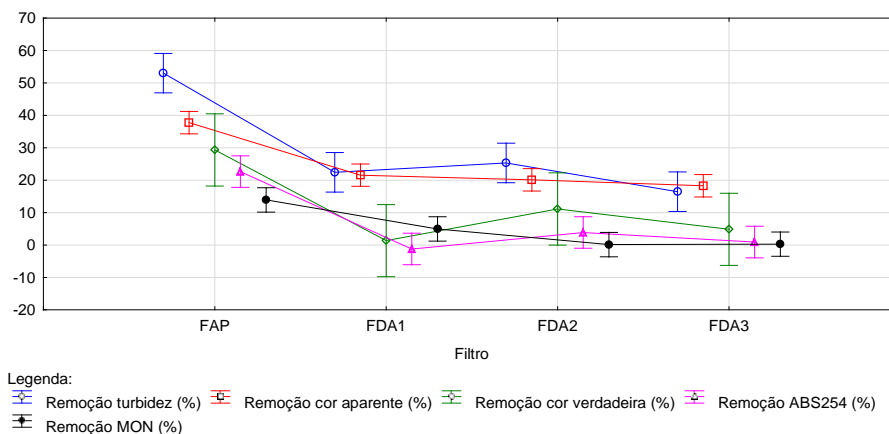


Figura 5 – Influência da granulometria na remoção da turbidez, cor aparente, ABS₂₅₄ e MON pelo FDA3 para taxa de filtração 255/340 m³.m⁻².dia⁻¹.

CONCLUSÃO

A partir das análises dos dados obtidos concluiu-se que apesar do desempenho semelhante aos demais FAP, o pré-filtro FAP3 apresentou melhor eficiência e as menores médias de turbidez e cor aparente remanescentes e o FAP1 foi o de pior desempenho. Foram verificados picos de turbidez na água pré-filtrada após as descargas de fundo intermediária (DFI) e na água filtrada após a lavagem dos filtros de pedregulho. A elevação da taxa de filtração não influenciou o desempenho dos pré-filtros, entretanto taxas de filtração entre 200 e 300 m³.m⁻².dia⁻¹ foi a faixa escolhida. O FAP se mostrou equalizador na qualidade da água afluente dos filtros de areia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR/MS). Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Portaria de consolidação nº 5/2017. Brasília: MS, 2017.
- BRAGA, F. M. G.; CORDEIRO, B. S.; BRANDÃO, C. C. S. Dupla filtração em filtros ascendentes de pedregulho e filtros descendentes de areia aplicada à remoção de algas: influência da granulometria do filtro de

- areia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. Anais ABES, 2007.
3. DUARTE, M. A. C., Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2011.
 4. GUSMÃO, P. T. R.; DI BERNARDO, L. Desempenho da dupla filtração utilizando a filtração ascendente em pedregulho e em areia Grossa. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 2003, Joinville. Anais ABES, 2003.
 5. SABOGAL-PAZ, L. P.; MARQUES, E.; ABICHABK, F. B.; SAKAMTO, J. A. Technical-economic evaluation of double filtration technology. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.l.], v. 20, p. 525-532, out. 2012.
 6. SILVA, G. G. et al. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 17, n. 1, p. 71–80, 2012.