

II-021 - TECNOLOGIA DE FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE APLICADA AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE ETE PARA REÚSO DIRETO

Fernando Afonso Marrengula

Oceanógrafo (UEM-Moçambique), Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Brasil) e Doutorando em Tecnologia Ambiental (UNAERP- Brasil).

Cristina Filomêna Pereira Rosa Paschoalato⁽¹⁾

Engenheira Química, Mestre e Doutora em Hidráulica e saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) e docente pesquisadora do Programa de Mestrado e Doutorado em Tecnologia Ambiental da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Brasil).

Mateus Ancheschi Roveda Guimarães Iniciação Científica de Engenharia Química da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Brasil).

Mariana Santos Silva Iniciação Científica de Engenharia Química da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Brasil).

Renan Henrique Rocha Engenheiro Químico pela Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP-Brasil).

Endereço⁽¹⁾: Rua do Professor, nº 536 apto 123 Bairro Jardim São Luís Ribeirão Preto-SP Brasil CEP: 14020-280 - Tel: +55 (16) 981154139 E-mail: cpaschoa@unaerp.br

RESUMO

A escassez de água é um problema real de âmbito mundial, o reúso pode reduzir a demanda sobre os recursos hídricos e poupar grandes volumes de água potável através da substituição por uma água de reúso com qualidade inferior destinada a usos que requerem qualidade menos exigente, tais como lavagem de pisos, ruas e vias sem pavimentação, irrigação de jardins, etc. Neste contexto, foi proposta a aplicação da tecnologia de filtração direta descendente (FDD) em areia, como tratamento complementar, aplicado a um efluente secundário de estação de tratamento de esgoto sanitário (ETE), com vista à obtenção de água de reúso direto. Para tal, foi realizado um monitoramento (12 meses) do efluente da ETE de um município do interior paulista para avaliar a qualidade, foram realizados ensaios de tratabilidade em Jar test por FDD com uso do coagulante poli-cloreto de alumínio (PAC), seguido de oxidação com cloro. O resultado do monitoramento do efluente da ETE apresentou qualidade adequada com vistas ao lançamento em corpos d'água e para aplicação da FDD, a dosagem otimizada para o coagulante PAC foi de 16 mg L⁻¹ de PAC, a tecnologia de FDD seguida de oxidação com cloro forneceu água de reúso com cor aparente entre 1,0 e 18 uH; Turbidez <1,4 uT; pH de aproximadamente 8,0; Cloro residual livre de 1 mg L⁻¹; DBO de <6,5, sólidos suspensos totais <2mg L⁻¹; *E.Coli* 50 UFC.100 mL⁻¹ e Carbono orgânico total <5,4 mg L⁻¹ C, tais resultados atendem as recomendações de qualidade estabelecidas pela USEPA (2004) e da NBR 13969 (ABNT, 1997). Pode-se concluir que, a qualidade da água obtida pela aplicação da tecnologia de FDD seguido de oxidação com cloro atende demanda de reúso urbano irrestrito, tais como irrigação, lavagem de pisos, jardins e espaços públicos, o município pode fazer o armazenamento para combate de incêndio.

PALAVRAS-CHAVES: Água de reúso, carbono orgânico total, efluente secundário, filtração direta descendente, tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

Em razão da crescente limitação de água e sua inevitável escassez futura, faz-se necessário estudo sobre a aplicação de alternativas tecnológicas para o tratamento de água para atender demanda de consumo racional e sustentável, afim de que seja preservada a disponibilidade de água para presentes e futuras gerações, pois a água é um bem essencial a sobrevivência.

Tal situação é agravada pela distribuição desigual dos recursos hídricos, atualmente existem 26 países que abrigam milhões de pessoas e que se enquadram na categoria de áreas com escassez de água. Segundo Mancuso e Santos (2003), pelo menos 8% da reserva mundial de água doce estão no Brasil, sendo que 8% encontram-se na Região Amazônia e somente 20% encontram se distribuídos nas regiões onde vivem 95% da população brasileira.

Diante desta situação, o reúso de água deve ser considerado como parte do uso racional ou eficiente da água, o qual compreende também o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água. Os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas, industriais, urbanos e ambientais. Ao liberar as fontes de água de boa qualidade para abastecimento público e outros usos prioritários, o reúso de esgotos contribui para a conservação dos recursos. O reúso reduz a demanda sobre os mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Essa prática, atualmente muito discutida, posta em evidência e já utilizada em alguns países é baseada no conceito de substituição de mananciais. Tal substituição é possível em função da qualidade requerida para um uso específico (CETESB, 2015). Podem-se poupar grandes volumes de água potável através do reúso com a utilização de água de qualidade inferior (geralmente efluentes pós-tratados) para atendimento das finalidades que podem prescindir desse recurso dentro dos padrões de potabilidade.

Atualmente, a tecnologia e os fundamentos ambientais, permitem fazer o uso e o reúso dos recursos hídricos disponíveis localmente, mediante programas adequados de gestão. A prática de reúso da água já configura uma realidade adotada em alguns países, inclusive pelo Brasil. O reúso de água reduz a demanda sobre os mananciais devido à substituição da água potável por uma água de reúso com qualidade inferior, para fins menos nobres.

Porém, em algumas estações de tratamento de esgotos (ETE), o procedimento de desinfecção com cloro em uma parcela do efluente e denominar este efluente como água de reúso da ETE, ignorado completamente à indesejável formação de subprodutos da desinfecção, principalmente os trihalometanos, substâncias reconhecidamente cancerígenas, que se formam quando se submete água com presença de matéria orgânica em contato com cloro, neste sentido o objetivo foi estudar a aplicação da tecnologia de filtração direta descendente (FDD) como tratamento complementar aplicado a um efluente de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) com vista à obtenção de água para reúso direto, não potável, segundo requisitos da USEPA (2004) e ABNT- NBR 13969 (1997).

Para alcançar o objetivo pretendido, foram necessários os seguintes objetivos específicos: investigar a qualidade do efluente da ETE bruto quanto a características físicas, químicas e bacteriológicas; avaliar a tratabilidade por filtração rápida descendente do efluente da ETE em escala de bancada para otimizar a dosagem de coagulante, determinar a dosagem de cloro para desinfecção; avaliar a qualidade obtida da água com vistas ao reúso direto.

MATERIAL E MÉTODOS

A ETE em estudo opera na concepção de tratamento por processo biológico aeróbio com a tecnologia de lodos ativados de areação prolongada, com dois módulos do tipo carrossel, a capacidade máxima de operação é de 25000 m³/dia, com vazão atual de 18000 m³/dia.

Durante um período de 12 meses foi realizado um monitoramento para verificar as características de qualidade do efluente da ETE em estudo. Dentre os parâmetros avaliados, alguns objetivam o conhecimento da qualidade do efluente, em atendimento aos padrões de lançamento em corpos d'água, tais como amônia e fósforo, outros parâmetros foram investigados visando à aplicação da tecnologia de FDD, sendo: alcalinidade, cor aparente, carbono orgânico total (COT), turbidez, e alguns parâmetros são de interesse na qualidade da água destinada ao reúso direto embora comum em ambas às situações, tais como demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅ dias, 20°C), *Escherichia Coli* e sólidos suspensos totais (SST), todos os métodos empregados foram realizados segundo APHA et al. (2005).

Ensaio de Tratabilidade por Filtração Direta Descendente

Os ensaios foram realizados em um equipamento do tipo Jar Test para a otimização da dosagem do coagulante Poli-cloreto de alumínio (PAC). Para a simulação da tecnologia de filtração direta descendente (FDD) empregou-se colunas de acrílico preenchidas de areia, denominadas de filtros de laboratório com areia (FLA) acoplado ao Jar Test. Para execução dos ensaios de FDD foi preparada uma areia, por meio de classificação granulométrica com mistura para obtenção da seguinte composição: 10% em massa da areia 0,59 mm a 0,71mm e 50% em massa de areia 0,71mm a 0,84mm; 40% em massa de areia 0,84 mm a 1,0mm.

As condições operacionais foram gradiente de mistura rápida de $1000s^{-1}$ (436 rpm) e tempo de mistura rápida de 30 segundos, em seguida a rotação foi mantida em 100 rpm com uma taxa de filtração de aproximadamente $67 m^3 m^{-2} d^{-1}$ ou $2,8 m^3 m^{-2} h^{-1}$. Após 15 minutos de filtração, iniciou-se a coleta de alíquotas para avaliar turbidez remanescente. Através da elaboração de diagramas com dosagem de coagulante em função do pH de coagulação e da turbidez remanescente, foram identificadas as regiões que apresentaram a eficiência na remoção de turbidez. Na água filtrada, os seguintes parâmetros de controle foram avaliados: pH de coagulação; turbidez e COT.

Desinfecção

A desinfecção foi realizada no efluente secundário da ETE após ter sido submetido à simulação da tecnologia de FDD (coagulação e filtração em areia). Nesta etapa, a dosagem de cloro empregada foi determinada com base em ensaios de demanda de hipoclorito de sódio 12% p/v, foram aplicadas diferentes dosagens de cloro em porções de 100 mL de água tratada por FDD e após um tempo de contato de 30 minutos, foi quantificado o teor de cloro residual livre, pelo método espectrofotométrico com uso de reagente de N,N-Dietil-P-Phenilenodiamina (DPD). O critério de seleção da dosagem a ser empregada na desinfecção, foi a obtenção de um teor de cloro residual livre de $1,0 mg.L^{-1}$, valor recomendado para reúso urbano irrestrito segundo USEPA (2004), observando a ocorrência da superação do cloro combinado com amônia.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de monitoramento do efluente da ETE foram importantes para o conhecimento da qualidade, assim como a ocorrência de suas variações, alguns parâmetros foram comparados às recomendações de qualidade requerida para reúso segundo USEPA (2004); NBR 13969 (ABNT, 1997). O período de monitoramento a que estes resultados se referem foi de 23 de janeiro de 2015 a 21 de março de 2016. Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios e respectivo desvio padrão obtidos no monitoramento da qualidade do Efluente da ETE.

Tabela 1 Resultados expressos em valores médios (n=25) e desvio padrão (DP) do monitoramento do efluente da ETE e os valores de referência.

Parâmetro	Unidade	Média	DP	Valor de Referência		
				*Lançamento	**Reúso	***FDD
pH	adimensional	7,30	0,17	5,0 a 9,0	6,0 a 9,0	nc
Cor aparente	uH	40	10	nc	nc	<20
Turbidez	uT	3,9	1,8	nc	< 5	<10
Nitrogênio amoniacal	mg NH ₃ /L	1,73	1,30	<20	nc	nc
Alcalinidade bicarbonato	mg CaCO ₃ /L	127	18	nc	nc	nc
DBO 5 dias a 20°C	mg O ₂ /L	10	6	<60mg/L O ₂ ou 80%	<10	nc
Carbono orgânico total	mg C/L	81	65	nc	nc	nc
Sólidos suspensos totais	mg/L	6	3	nc	≤30	≤25
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100mL	6441	8935	nc	< 200	<500

* Lançamento: VMP segundo CONAMA n° 430 (2005) e Decreto n° 8468, Artigo 11 (1976).

** USEPA (2004) e NBR 13969 (ABNT, 1997).

*** Recomendações Di Bernardo (2003) para 90% do tempo.

Pelos resultados obtidos no período monitorado e comparados aos valores máximos recomendados para lançamento, observou-se que o efluente da ETE atende aos padrões de lançamento para os valores de pH, nitrogênio amoniacal e DBO, podendo-se inferir que a tecnologia de tratamento biológico empregada na ETE, opera com eficiência e pelos desvios obtidos não ocorrem variações significativas, exceto para *E.coli*, com valores em torno de 10^2 e 10^4 , porém considerando que um tratamento biológico a nível secundário não objetiva a inativação de microrganismos.

Em relação aos resultados de monitoramento com vistas ao reúso, no período monitorado, a qualidade do efluente da ETE não atende aos requisitos para reúso (USEPA, 2004 e NBR 13969, 1997), quanto aos parâmetros de DBO e *E. Coli*, inferindo sobre a necessidade do emprego de uma tecnologia complementar ao tratamento biológico. Destaca-se os valores obtidos de COT de $81 \text{ mg. L}^{-1} \pm 65$, que confirmam a presença residual de matéria orgânica que são reconhecidamente precursores da formação de subprodutos halogenados (SINGER, 1994).

Com o foco na aplicação da tecnologia de FDD, segundo as recomendações de Di Bernardo (2003), apesar da mesma se referir à água bruta de mananciais, os resultados do monitoramento apontam para a possibilidade de aplicação da FDD no efluente da ETE, considerando principalmente que os resultados de turbidez no período monitorado apresentou valores de $3,9 \text{ uT} \pm 1,8$ e o valor recomendado para 90% do tempo é que seja inferior a 10 uT .

Nos resultados dos ensaios em Jar Test, simulando a tecnologia de FDD com o coagulante PAC, obteve-se a dosagem otimizada de 16 mg.L^{-1} de PAC, com pH de coagulação de 7,30; cor aparente 17 uH de e turbidez remanescente de $0,9 \text{ uT}$.

Resultados dos ensaios de FDD com oxidação

A partir da otimização da dosagem de PAC na etapa de coagulação, foram realizados os ensaios de FDD para geração de água de reúso, destinada aos subsequentes ensaios de desinfecção. Esta água de reúso foi então submetida a diferentes dosagens de cloro com tempo de contato de 30 minutos, objetivando a determinação da demanda de cloro para obtenção de 1 mg/L de cloro residual livre (USEPA, 2004). Na Figura 1 esta apresentado os resultados do ensaio de demanda de cloro da água de reúso obtendo-se na dosagem de $5,4 \text{ mg Cl}_2 \text{ L}^{-1}$ um teor de cloro residual livre em torno de $1,0 \text{ mg Cl}_2 \text{ L}^{-1}$.

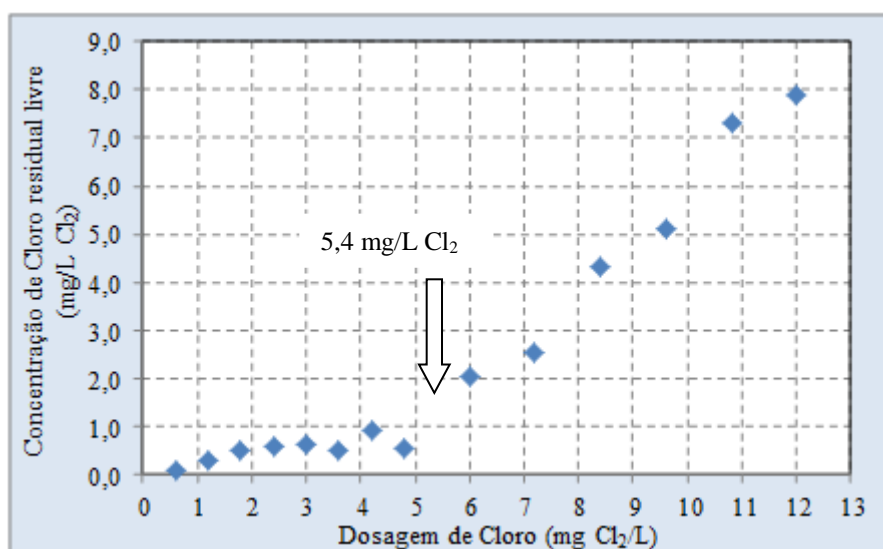


Figura 1 Resultados do ensaio de demanda de cloro da água de reúso coagulada com PAC.

Os resultados obtidos considerando os parâmetros de referência recomendados pela USEPA (2004) e NBR n°13969 (1997) para água de reúso encontram-se na Tabela 2, sendo que todos atendem aos requisitos.

Tabela 2 Resultados médios (n=3) e desvio padrão da qualidade da água de reúso tratada por FDD

Parâmetro	Unidade	Resultado			Média	DP (n=3)	*Valor de Referência
		A	B	C			
pH	adimensional	8,03	8,01	7,90	7,98	0,06	6,0 a 9,0
Cor aparente	uH	<1	<1	<1	<1	0	nc
Turbidez	uT	1,02	1,30	1,12	1,15	0,12	< 5
Cloro residual livre	mg/L Cl ₂	0,86	0,85	0,99	0,90	0,06	1,0
Carbono orgânico total	mg/L C	5,060	4,673	5,602	5,112	0,381	nc
DBO ₅ dias, 20°C	mg/L O ₂	5,0	6,0	4,0	5,0	0,8	<10
Sólidos suspensos totais	mg/L	1,2	0,2	0,2	0,5	0,5	≤30
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100mL	<2	<2	<2	<2	0	< 200

nc: não consta

* USEPA (2004) combinado a NBR 13969 (ABNT, 1997).

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no estudo pode-se concluir que:

- A qualidade do efluente secundário da ETE monitorado no período de 25 semanas apresentou conformidade com os padrões de lançamento citados do Decreto SP nº 8486 (1976) e pela Resolução CONAMA 430 (2011).

- Quanto à qualidade para fins de reúso pode-se concluir que o efluente secundário, sem ter sido submetido a qualquer tratamento, não atende aos requisitos das Diretrizes da USEPA (2004) e das Normas Técnicas (ABNT-NBR 13969, 1997), infere-se sobre a necessidade de uma tecnologia complementar para adequação de destinação ao reúso.

- Pelo monitoramento pôde-se concluir que a qualidade do efluente com foco aplicação da tecnologia por FDD, não apresentou variações significativas principalmente: pH entre 7,30 a 8,00, Cor aparente 40uH ±10,19 e turbidez 3,9uT ± 1,30, confirmando a viabilidade de estudos para o emprego da tecnologia de FDD.

- Os ensaios de tratabilidade de FDD com o coagulante PAC, na dosagem otimizada de 16 mg/L⁻¹, seguido de desinfecção com cloro da dosagem de 5,4 mg/L⁻¹ Cl₂ e tempo de contato de 30 minutos, apresentaram resultados satisfatórios de turbidez com 1,15 uT, cor aparente <1 uH e carbono orgânico total 5,112 mgC.L⁻¹ com 93,7% de remoção e a inativação de 99,99% de *E. Coli* e obtendo-se um teor desejável de cloro residual livre de 0,90 mg.L⁻¹ Cl₂.

A tecnologia de filtração direta descendente pode ser uma opção viável de baixo custo de implantação e de operação para obtenção de água de reúso com qualidade, recomenda-se estudos em escala piloto para definição de parâmetros hidráulicos e operacionais, tais como taxa de filtração, perda de carga no leito, lavagem e carreira de filtração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ____ Brasil Conselho Nacional Do Meio Ambiente CONAMA. (2011) **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) **nº 13969, (1997)**. Projeto, Construção e Operação de Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes de Tanques Sépticos: procedimentos. Rio de Janeiro, 57p.

3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 20th edition. Washington, EUA, 2005.
4. CETESB. Reúso da água. São Paulo. SP. Disponível em: <http://www.CEBESB.sp.gov.br/aguas/ripos/gesta_reuso.asp> Acesso em: 15/01/2016.
5. DI BERNARDO, L. (Coordenador). Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Rio de Janeiro: ABES, Rima 2003, 498 p. Projeto PROSAB.
6. MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H.F.. Reuso de Água. NISAM – US Barueri, São Paulo, Manole, 2003.
7. ____SÃO PAULO. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n. 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente. Disponível em: http://www.ade.sp.gov.br/legislação/decreto_8486.htm.
8. SINGER, P. C; ASCE, M. Controle de subprodutos de desinfecção na água potável. JEE-ASCE, v. 120, n. 4 p.727-741. Julho / Agosto, EUA. (1994).
9. United State Environmental Protection Agency (USEPA). (2004). **Guidelines for Water Reuse**. EPA/600/R-12/618. Office of Water, Washington, DC.