

## II-006 - CLARIFICAÇÃO DE ÁGUA CINZA CLARA DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL POR COAGULAÇÃO E FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO PARA FINS DE REÚSO DE ÁGUA

**Ramiro Gonçalves Etchepare<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Luterana do Brasil. Mestre e Doutor em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), junto ao Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA).

**Tulio Salatiet Cintra**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Goiás. Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental PPGERHA na Universidade Federal do Paraná (UFPR).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Campus Centro Politécnico, Setor de Tecnologia, Bloco V, Jardim das Américas – Curitiba/PR, CEP: 81531-990, Tel.: +55 (41)3361-3144, e-mail: ramiro.etchepare@ufpr.br

### RESUMO

Este estudo avaliou a clarificação de uma água cinza clara proveniente de um edifício comercial pelos processos de coagulação e flotação por ar dissolvido (FAD) para fins de reúso de água. Foi investigada a aplicação de diferentes agentes coagulantes em diferentes concentrações e valores de pH, bem como a taxa de reciclo e a pressão de saturação da FAD. A água cinza avaliada apresentou uma baixa carga orgânica (DQO = 36,3 mg.L<sup>-1</sup>; DBO = 31,6 mg.L<sup>-1</sup>) e de sólidos suspensos (SST = 20,1 mg.L<sup>-1</sup>; turbidez = 17,8 UNT) em comparação com valores reportados na literatura para efluentes semelhantes. Os resultados da otimização da etapa de coagulação indicaram o emprego de 20 mg.L<sup>-1</sup> de cloreto de polialumínio (PAC) como agente coagulante em pH 7. Nestas condições, o uso de taxas de reciclo entre 15 – 20% e de uma baixa pressão de saturação da FAD (2 bar) foram suficientes para assegurar uma turbidez residual de 1 NTU na água tratada. Este valor atende aos critérios internacionais mais restritivos de turbidez (2 NTU) para o reúso de águas cinzas em descargas de bacias sanitárias. Assim, conclui-se que a FAD possui elevado potencial de aplicação em sistemas de reúso de águas cinzas claras.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água cinza, flotação, reúso.

### 1. INTRODUÇÃO

Águas cinzas consistem na parcela de esgotos domésticos sem a contribuição de bacias sanitárias (ERIKSSON et al., 2002; FRIEDLER; HADARI, 2006). Estes efluentes podem ser classificados em água cinza clara (excluindo os efluentes de lavanderias e cozinhas) e água cinza escura (incluindo lavanderias e/ou cozinha) (NOLDE, 2000). A carga menor de patógenos (ausência de fezes) em relação aos esgotos domésticos implica em menor complexidade ao tratamento deste efluente e potencializa o reúso da água tratada em aplicações não-potáveis. As principais aplicações de reúso de água cinza são irrigação (paisagística e para cultivos), descarga de bacias sanitárias, lavagem de carros, pisos e calçadas, reservatório de água para incêndio e recarga de aquífero (LI et al., 2009; GHUNMI et al., 2010; GISI et al., 2015; GHAITIDAK; YADAV, 2016). Entre estas modalidades, a que tem apresentado maior crescimento e aplicações em edifícios comerciais em municípios brasileiros, para atender a requisitos legais e/ou obter certificações “verdes”, é a descarga em bacias sanitárias.

Em alguns municípios brasileiros como por exemplo Curitiba, Porto Alegre e São Paulo, é impositivo para determinadas situações o tratamento e reúso não potável de águas cinzas em edificações (CURITIBA, 2006; PORTO ALEGRE, 2009; SÃO PAULO, 2006). Países como Austrália, Estados Unidos, Reino Unido e Canadá desenvolveram normas individuais sobre a qualidade da água cinza de acordo com o tipo de reúso, estabelecendo valores médios e/ou máximos para parâmetros como Sólidos Suspensos Totais (SST), turbidez, Demanda Química de Oxigênio (DQO), coliformes, entre outros (OH et al., 2018). Os padrões estabelecidos

por esses países podem ser tomados como referência no Brasil e em outros países que carecem de critérios específicos para o reúso de água cinza.

Os principais processos empregados no tratamento de águas cinzas se diferenciam em biológico, como o filtro biológico aerado, biorreator de membrana, reator de batelada sequencial, UASB, reator biológico rotativo de contato e reator de leito fluidizado, wetlands; físico-químico, podendo ser coagulação, eletrocoagulação, adsorção utilizando carvão ativado granular, zeólitos naturais, carvão ativado em pó, processos oxidativos avançados; e físico, como peneiramento, sedimentação, flotação e filtração (GROSS et al., 2015; BOYJOO, 2013). Relatos dos últimos 5 anos indicam como aplicações mais emergentes os processos físico-químicos, especialmente coagulação-floculação-sedimentação, e wetlands (ARAÚJO, 2017; RAMPELOTTO, 2014; SINGH et al., 2018; RAWAT et al., 2018; NOUTSOPOULOS et al., 2017).

Entre os processos físico-químicos, o uso da flotação por ar dissolvido (FAD) para o tratamento de águas cinzas ainda não foi investigado com aprofundamento. A FAD é um processo de separação sólido-líquido no qual micro (MBs) e nanobolhas (NBs) produzidas pela despressurização de um fluxo de água saturada com ar, em pressão elevada (até 5 bar) são utilizadas para remoção de suspensões coloidais, bactérias, algas e vírus presentes em águas e efluentes líquidos (GREGORY et al., 1999; RUBIO et al., 2002; RODRIGUES; RUBIO, 2003; EDZWALD, 2010; CALGAROTO et al., 2014; AZEVEDO et al., 2016; ETCHEPARE, 2016; AZEVEDO, 2017).

As principais vantagens da FAD moderna é a sua alta taxa de aplicação superficial ( $9-14 \text{ m.h}^{-1}$ ), bem superior àquela de métodos de tratamentos concorrentes, como a sedimentação ( $5-6 \text{ m.h}^{-1}$ ), o que resulta no emprego de unidades de tratamento bastante compactas (EDZWALD, 2010; RODRIGUES; RUBIO, 2007; RUBIO et al., 2002; ZANETI et al., 2011) e a menor concentração de reagentes aplicados no processo (ETCHEPARE, 2016). Em função destas vantagens operacionais da FAD, acredita-se no potencial de uso deste processo na presente aplicação.

O presente trabalho teve como objetivo geral investigar o tratamento de água cinza clara por coagulação e FAD, visando o reúso não-potável em edificações (como descargas de bacias sanitárias). Os objetivos específicos foram: 1) caracterizar a água cinza clara quanto a parâmetros físicos e químicos; 2) escolher o melhor coagulante e as melhores condições operacionais de coagulação; e 3) avaliar a eficiência de redução de turbidez da água cinza pela FAD e o efeito da taxa de reciclo e pressão de saturação na turbidez residual da água.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Reagentes e Equipamentos

Os coagulantes empregados nos ensaios de tratamento da água cinza em bancada foram sulfato de alumínio, cloreto férrico e policloreto de alumínio (PAC) (todos da marca Buschle & Lepper). Foi utilizado hidróxido de sódio (P.A.) da marca Vetec para fazer o ajuste do pH do meio.

Para os ensaios de coagulação seguidos de flotação, foi utilizado equipamento do tipo Flotateste (Ethik Technology, modelo 218-6P LDBE), contendo 6 jarros com sistema de agitação mecânica. Os jarros são feitos de acrílico transparente e possuem volume interno de 2 L, com base quadrada de  $115 \times 115 \text{ mm}^2$ . Os agitadores permitem obter valores de gradiente de velocidade na faixa de  $10$  a  $1200 \text{ s}^{-1}$ . O compressor de ar é o modelo CSA 7,8/20 da marca Schulz. O vaso de saturação possui manômetros para o controle da pressão interna, e é construído em acrílico transparente com diâmetro interno de 100 mm, espessura de parede de 10 mm e altura de 320 mm, resultando volume útil de 2 L. A água deionizada utilizada nos ensaios é proveniente de um sistema de osmose reversa da marca Quimis, passando por um filtro de 5 micras, filtro de carvão, filtro de carvão block e um polimento final.

## 2.2 Métodos

- Caracterização da água cinza

A água cinza utilizada neste estudo foi coletada de um edifício comercial na cidade de Curitiba - PR, Brasil. Esta água cinza é proveniente dos chuveiros e lavatórios de banheiro, sendo classificada como água cinza clara. Para a caracterização do efluente, foram realizadas 5 amostragens entre os dias 05/08/2017 e 30/10/2017 para a análise de parâmetros de qualidade da água no Laboratório de Engenharia Ambiental (LBEAM) da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Os parâmetros analisados foram: condutividade elétrica, alcalinidade, pH, cor, sólidos dissolvidos, suspensos e totais, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), fósforo e nitrogênio. As análises foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos em APHA (2012).

- Tratamento de água cinza por coagulação-flotação

Todos os experimentos de tratamento foram realizados em duplicatas utilizando 2 L de amostra de água cinza real em temperatura ambiente (20,7 – 23,0° C). A coagulação foi realizada pelo emprego de 1 min de agitação rápida ( $G=800 \text{ s}^{-1}$ ) e 5 min de agitação lenta ( $G=50 \text{ s}^{-1}$ ). Após a formação de precipitados, realizou-se a geração de MBs e NBs para flotação pela despressurização e passagem por uma válvula agulha (2 mm de diâmetro interno) de um determinado volume de água deionizada saturada com ar (5 a 20% de taxa de reciclo) com valores de pressão de saturação variáveis (2 a 5 bar) por um tempo de 30 min. O procedimento de FAD foi realizado de forma similar ao descrito por AZEVEDO et al. (2016); AZEVEDO (2017); ETCHEPARE (2016); ETCHEPARE et al. (2017ab).

O estudo foi realizado em diferentes etapas que avaliaram o efeito de parâmetros de processo (pH, concentração de cada coagulante, taxa de reciclo e pressão de saturação no processo de FAD) na redução de turbidez da água. As faixas de valores avaliadas em cada etapa são mostradas na Tabela 1.

**Tabela 1: Faixa de valores para cada etapa do processo.**

REAGENTES	PH	COAGULANTE (MG.L <sup>-1</sup> )	TAXA DE RECICLO (%)	PRESSÃO DE SATURAÇÃO (BAR)
Sulfato de alumínio	7,0 – 8,0	30 – 60	5 – 20	2 – 5
Cloreto férrico	5,0 – 6,0	30 – 60		
PAC	7,0 – 8,0	20 – 50		

Os resultados foram analisados em termos de eficiência de redução de turbidez de acordo com a Equação 1.

$$Eficiência (\%) = 100 - \frac{C_f \times 100}{C_o} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:  $C_f$  indica o valor de turbidez remanescente e  $C_o$  o valor turbidez da água cinza bruta.

Para determinar as melhores condições operacionais, foi estabelecido como meta técnica um valor de turbidez residual igual a 2 UNT, que corresponde ao padrão mais restritivo adotado internacionalmente para o reúso de águas cinzas em descargas de bacias sanitárias (EPA, 2012; ANQIP, 2011; HA, 2010).

Nos ensaios de avaliação da influência da taxa de reciclo e pressão de saturação, foi selecionado o coagulante nas condições otimizadas com o menor custo para o tratamento. Por meio de uma pesquisa de mercado, foram obtidos os custos dos diferentes coagulantes utilizados e estimado os custos de tratamento de cada reagente. A Equação 2 mostra a fórmula utilizada para calcular o custo de processo de cada coagulante.

$$Custo \left( \frac{R\$}{m^3} \right) = \frac{C_{ótima} \times X}{1000} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:  $C_{ótima}$  indica o valor de concentração ótima de cada coagulante ( $mg.L^{-1}$ ) e X o valor em reais por quilograma (kg).

A Tabela 2 apresenta o valor por quilograma dos coagulantes

**Tabela 2: Valor por quilograma de cada coagulante.**

COAGULANTE	R\$/KG
Sulfato de alumínio	1,90
Cloreto férrico	1,75
PAC	1,40

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra a caracterização da água cinza clara deste estudo, apresentando os valores médios, mínimos e máximos de cada parâmetro analisado, e compara com outros estudos que fizeram a caracterização da água cinza.

**Tabela 3: Caracterização da água cinza clara desta pesquisa em comparação com outros trabalhos.**

Parâmetros	Presente pesquisa <sup>1</sup>		Santos et al., 2014 <sup>2</sup>	Chaillou et al., 2011 <sup>3</sup>	Giresunlu; Baykal, 2016 <sup>4</sup>		Noutsopoulos et al., 2017 <sup>5</sup>	Noutsopoulos et al., 2017 <sup>6</sup>
	Média	Min-Max	Min-Max	Média	Média	Min-Max	Média	Média
pH	7,0	6,7-7,3	6,9-7,3	7,6	-	-	7,5	7,6
Turbidez (UNT)	17,8	5,7-104	-	150	-	-	-	-
Cor (uH)	22	10-37,5	-	-	-	-	-	-
Condutiv. ( $uS.cm^{-1}$ )	216	126-284	-	468	-	-	318	318
Alcalin. ( $mg.L^{-1}$ )	71	55-97	-	-	-	-	-	-
ST ( $mg.L^{-1}$ )	144,5	124-162	326-356	-	-	-	325	373
SST ( $mg.L^{-1}$ )	20,1	15,5-25	58-74	125	139	56-186	73,5	90,5
SDT ( $mg.L^{-1}$ )	124,4	99-140	269-282	-	-	-	251,5	282,5
DBO ( $mg.L^{-1}$ )	31,6	26-37	59-129	240	67	54-85	263	305
DQO ( $mg.L^{-1}$ )	36,3	28,4-42,6	179-197	399	198	99-351	390	272
$N_t$ ( $mg.L^{-1}$ )	7,5	2,6-10,9	-	9,5	-	-	2,7	2,5
$P_t$ ( $mg.L^{-1}$ )	0,5	0,2-1,1	0,7-1,3	0,4	1,8	1,6-2,0	0,1	1,3

Contribuições de <sup>1</sup> e <sup>2</sup>: lavatórios e chuveiros, <sup>3</sup> e <sup>6</sup>: chuveiros, <sup>4</sup>: lavatórios, chuveiros e máquina de lavar roupas e <sup>5</sup>: máquina de lavar roupas.

Os resultados demonstraram que, em comparação com outros estudos de caracterização de água cinza clara, o presente efluente apresentou uma carga orgânica (DBO e DQO) e de sólidos (ST, SST, SDT, turbidez e condutividade) mais baixa, enquanto os valores de nutrientes são similares aos outros estudos. Este fato pode ser explicado em função desta água cinza ser proveniente predominantemente de lavatórios das salas comerciais do edifício.

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios que visaram otimizar o pH de coagulação para cada um dos reagentes empregados.

**Tabela 4: Etapa de otimização do pH de coagulação. (1 min de mistura rápida com  $G=800 \text{ s}^{-1}$ , 5 min de mistura lenta com  $G=50 \text{ s}^{-1}$  e 14 min de sedimentação; Sulfato de alumínio =  $50 \text{ mg.L}^{-1}$ , Cloreto férrico =  $40 \text{ mg.L}^{-1}$  e PAC =  $30 \text{ mg.L}^{-1}$ )**

COAGULANTE	pH	TURBIDEZ BRUTA MÉDIA (UNT)	TURBIDEZ RESIDUAL MÉDIA (UNT)	EFICIÊNCIA MÉDIA (DESVIO PADRÃO)
Sulfato de alumínio	6,5	13,6	4,8	65 ( $\pm 0,5$ )
	7,0	17,5	4,5	75 ( $\pm 0,7$ )
	7,5	17,5	4,6	74 ( $\pm 1,5$ )
Cloreto férrico	5,0	20,2	7,8	55 ( $\pm 14$ )
	5,5	20,2	4,4	76 ( $\pm 4$ )
	6,0	20,2	6,4	64 ( $\pm 10$ )
PAC	6,5	25,7	3,3	87 ( $\pm 0,3$ )
	7,0	25,7	2,3	91 ( $\pm 0,4$ )
	7,5	25,7	2,9	89 ( $\pm 0,6$ )

Os dados obtidos mostraram que a condição ótima do pH de coagulação é de 7,0; 5,5 e 7,0 para o sulfato de alumínio, cloreto férrico e PAC, respectivamente. Comparando estes valores com aqueles constantes em diagramas de solubilidade do alumínio e ferro (HOWE et al., 2016; METCALF; EDDY, 2015; LIBÂNIO, 2008), observa-se que os valores de pH determinados estão dentro da região onde ocorre a formação dos precipitados dos metais aplicados.

A Tabela 5 mostra os resultados dos ensaios que visaram otimizar a concentração de cada coagulante empregado. Os melhores resultados foram obtidos com concentrações de 40, 50 e 20  $\text{mg.L}^{-1}$  para o sulfato de alumínio, cloreto férrico e PAC, respectivamente. Mesmo sem a adição de um polímero (floculante), os precipitados formados nestas condições foram passíveis à colisão e adesão as bolhas ascendentes, reduzindo a turbidez da água tratada para valores sempre abaixo da meta técnica do presente estudo (2 UNT).

**Tabela 5: Etapa de otimização da concentração dos coagulantes. (1 min de mistura rápida com  $G=800 \text{ s}^{-1}$ , 5 min de mistura lenta com  $G=50 \text{ s}^{-1}$  e 5 min de flotação;  $P_{\text{sat}} = 3 \text{ bar}$ ,  $T_{\text{sat}} = 30 \text{ min}$  e Taxa de reciclo = 20%)**

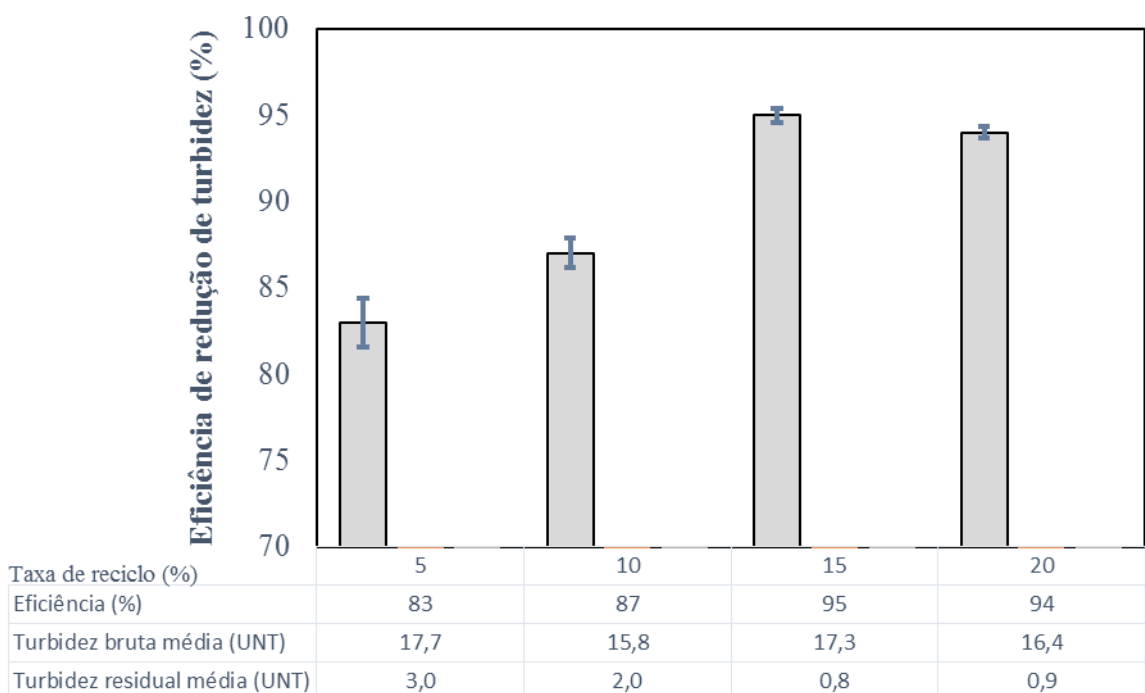
COAGULANTE	CONCENTRAÇÃO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	TURBIDEZ BRUTA MÉDIA (UNT)	TURBIDEZ RESIDUAL MÉDIA (UNT)	EFICIÊNCIA MÉDIA (DESVIO PADRÃO)
Sulfato de alumínio	30	15,8	2,0	87 ( $\pm 0,6$ )
	40	16,3	0,9	95 ( $\pm 0,5$ )
	50	15,5	0,9	94 ( $\pm 0,2$ )
	60	15,7	1,5	90 ( $\pm 0,2$ )
Cloreto férrico	30	16,8	1,1	93 ( $\pm 0,5$ )
	40	17,4	1,3	93 ( $\pm 0,4$ )
	50	16,1	0,7	96 ( $\pm 0,0$ )
	60	17,2	2,0	88 ( $\pm 0,1$ )
PAC	20	17,6	1,1	94 ( $\pm 0,3$ )
	30	17,4	0,7	96 ( $\pm 0,3$ )
	40	17,5	2,1	88 ( $\pm 0,4$ )
	50	17,2	2,7	84 ( $\pm 0,8$ )

A Tabela 6 mostra os resultados da estimativa de custo de cada coagulante. Os resultados indicaram que o PAC apresenta menor custo por  $\text{m}^3$  de água cinza tratada e o mesmo foi escolhido para avaliar a influência da taxa de reciclo e pressão de saturação.

**Tabela 6: Estimativa de custo.**

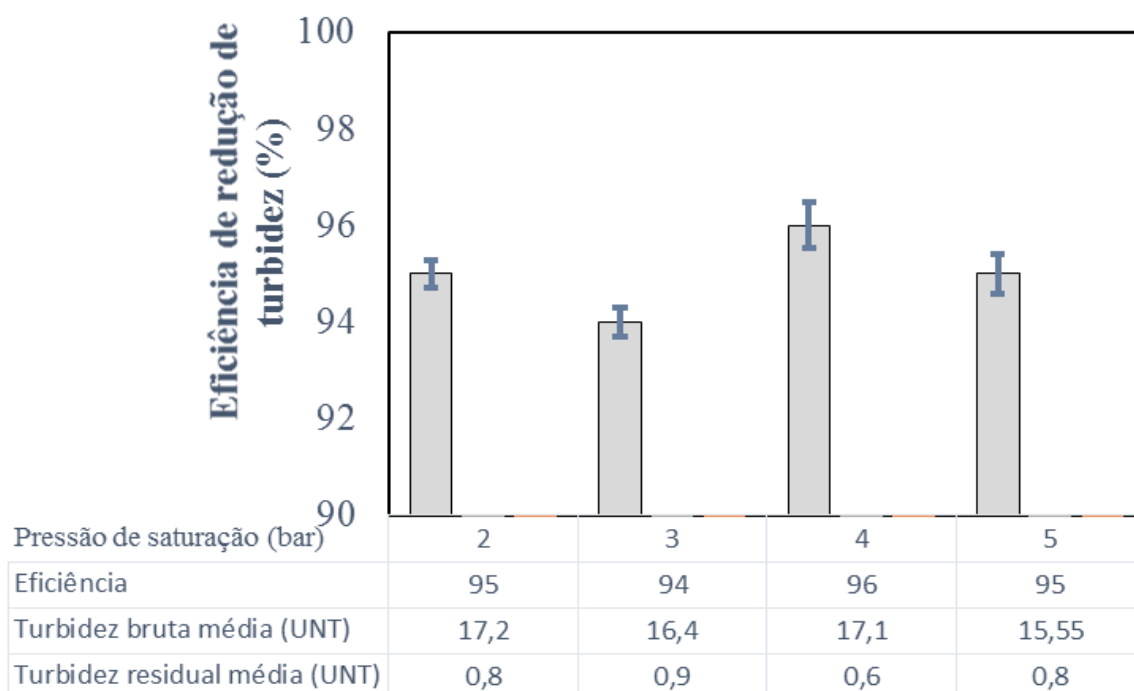
COAGULANTE	CONCENTRAÇÃO (mg.L <sup>-1</sup> )	R\$/KG	R\$/m <sup>3</sup>
Sulfato de alumínio	40	1,40	0,056
Cloreto férrico	50	1,75	0,087
PAC	20	1,90	0,038

A Figura 1 mostra os resultados do efeito da taxa de reciclo na redução de turbidez residual pela FAD. As melhores condições de tratamento foram aquelas a partir de 15% de reciclo, que resultaram em eficiências médias de redução de turbidez  $\geq 94\%$ , e uma turbidez residual abaixo de 2 UNT. Os dados obtidos são justificados pela maior concentração de MBs e NBs quando da utilização de taxas de reciclo mais elevadas (RODRIGUES, 2004; PIOLTINE; REALI, 2015).



**Figura 1: Resultados dos ensaios da etapa de otimização da taxa de reciclo. (1 min de mistura rápida com  $G=800 \text{ s}^{-1}$ , 5 min de mistura lenta com  $G=50 \text{ s}^{-1}$  e 5 min de flotação;  $P_{\text{sat}} = 3 \text{ bar}$ ,  $T_{\text{sat}} = 30 \text{ min}$  e PAC =  $20 \text{ mg.L}^{-1}$ )**

Os resultados do efeito da pressão de saturação da FAD na redução de turbidez da água cinza são mostrados na Figura 2. A turbidez residual foi mantida em valores sempre abaixo de 1 UNT, entretanto, o aumento da pressão de saturação não resultou na melhora da eficiência da FAD, com a redução de turbidez permanecendo constante em todos os níveis avaliados (2-5 bar). A baixa carga de SST associada a precipitados leves obtidos na etapa de coagulação, justificam estas elevadas eficiências observadas mesmo com o uso de pressões mais baixas. Recentemente foi reportado que o uso de pressões abaixo de 3 bar resulta na geração de uma baixa concentração de MBs, entretanto, um número elevado de NBs (AZEVEDO et al., 2016). Estas últimas são auxiliares nos mecanismos de remoção de colóides e/ou precipitados pela FAD (ETCHEPARE et al., 2017).



**Figura 2: Resultados dos ensaios da etapa de otimização da pressão de saturação. (1 min de mistura rápida com  $G=800 \text{ s}^{-1}$ , 5 min de mistura lenta com  $G=50 \text{ s}^{-1}$  e 5 min de flotação;  $T_{\text{sat}} = 30 \text{ min}$ , Taxa de reciclo = 20% e PAC =  $20 \text{ mg.L}^{-1}$ )**

Estes resultados são importantes pois demonstram o elevado potencial da FAD, mesmo operando com baixas pressões de saturação, o que juntamente com o fato de não ser necessário o uso de polímero pode reduzir os custos energéticos em aplicações futuras. É importante ressaltar que os custos operacionais constituem uma das maiores limitações para aplicações da FAD em relação a tecnologias concorrentes, como a sedimentação.

Na concepção de um futuro fluxograma de tratamento para um sistema de reuso de água cinza, é importante considerar o princípio de múltiplas barreiras (METCALF; EDDY, 2006) e avaliar a integração dos processos aqui propostos (coagulação-flotação) com um polimento, pelo uso de filtração em areia por exemplo, e com uma etapa de desinfecção, como a cloração ou a ozonização.

#### 4. CONCLUSÃO

- O estudo de caracterização da água cinza demonstrou que a mesma possui uma carga orgânica relativamente baixa ( $\text{DQO} = 36,3 \text{ mg.L}^{-1}$ ;  $\text{DBO} = 31,6 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e uma baixa concentração de sólidos suspensos ( $\text{SST} = 20,1 \text{ mg.L}^{-1}$ ; turbidez =  $17,8 \text{ UNT}$ ) quando comparada com outros relatos em literatura;
- A etapa de otimização da coagulação indicou que os melhores resultados foram obtidos com o uso de cloreto de polialumínio (PAC) em pH 7 e com uma concentração de  $20 \text{ mg.L}^{-1}$ . Este reagente foi o que apresentou o melhor custo-benefício entre os coagulantes avaliados com relação ao seu valor de mercado e concentrações aplicadas. Não foi necessário o uso de polímero para obter uma turbidez residual inferior a meta técnica deste estudo de  $2 \text{ NTU}$ ;
- A avaliação dos parâmetros operacionais da FAD demonstrou que as melhores condições de clarificação da água cinza foram obtidas a partir de uma taxa de reciclo de 15%. A variação da pressão de saturação não resultou em melhorias na redução de turbidez e mesmo com o uso de baixas pressões (2 bar), a turbidez residual foi inferior a  $1 \text{ UNT}$ ;
- Os resultados obtidos demonstraram o grande potencial da FAD para obtenção de águas cinzas tratadas com elevada clarificação e qualidade estética para fins de reúso de água.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. American Public Health Association, Washington DC, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A QUALIDADE DAS INSTALAÇÕES PREDIAIS – ANQIP. *Sistemas de reutilização ou reciclagem de águas residuais cinzentas*. 2011.
3. ARAUJO, A. P. C. S. Tratamento de efluentes de lavagem de ônibus e de lavanderia por flotação por ar dissolvido e filtração visando o reúso de água. Londrina, 2017. Dissertação de mestrado – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
4. AZEVEDO, A. C. Estudos de geração e caracterização físico-química de nanobolhas produzidas por despressurização e aplicações em sistemas de flotação. Porto Alegre, 2017. Tese de doutorado – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.
5. AZEVEDO, A., ETCHEPARE, R., CALGAROTO, S., RUBIO, J. *Aqueous dispersions of nanobubbles: Generation, properties and features*. *Minerals engineering*, v. 94, p. 29-37, 2016.
6. AZEVEDO, A., ETCHEPARE, R., RUBIO, J. Raw water clarification by flotation with microbubbles and nanobubbles generated with a multiphase pump. *Water science & technology*, v. 75, n. 10, p. 2342-2349, 2017.
7. BOYJOO, Y., PAREEK, V. K., ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology*, v. 67, n. 7, p. 1403-1424, 2013.
8. CALGAROTO, S., WILBERG, K. Q., RUBIO, J. *On the nanobubbles interfacial properties and future applications in flotation*. *Minerals Engineering*, v. 60, p. 33-40, 2014.
9. CHAILLOU, K., GÉRENTE, C., ANDRÈS, Y., WOLBERT, D. *Bathroom greywater characterization and potential treatments for reuse*. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 215, n. 1-4, p. 31-42, 2011.
10. CURITIBA. Lei Municipal n. 10.785/2003. Cria o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações.
11. EA – Environment Agency. *Greywater for domestic users: an information guide*. 2011.
12. EDZWALD, J. K. *Dissolved air flotation and me*. *Water research*, v. 44, n. 7, p. 2077-2106, 2010.
13. EPA – United States Environmental Protection Agency. *Guidelines for water reuse*. EPA/600/R-12/618, 2012.
14. ERIKSSON, E., AUFFARTH, K., HENZE, M., LEDIN, A. *Characteristics of grey wastewater*. *Urban water*, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.
15. ETCHEPARE, R. G. Integração de processos no tratamento de efluentes de lavagem de veículos para reciclagem de água. Porto Alegre, 2012. Dissertação de mestrado - Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.
16. ETCHEPARE, R. G. Geração, caracterização e aplicações das nanobolhas na remoção de poluentes aquosos e reúso de água por flotação. Porto Alegre, 2016. Tese de doutorado – Escola de engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2016.
17. ETCHEPARE, R., AZEVEDO, A., CALGAROTO, S., RUBIO, J. Removal of ferric hydroxide by flotation with micro and nanobubbles. *Separation and Purification Technology*, v. 184, p. 347-353, 2017a.
18. ETCHEPARE, R. G., OLIVEIRA, H., AZEVEDO, A., RUBIO, J. *Separation of emulsified crude oil in saline water by dissolved air flotation with micro and nanobubbles*. *Separation and Purification Technology*, v. 186, p. 326-332, 2017b.
19. FRIEDLER, E., ALFIYA, Y. Physicochemical treatment of office and public buildings greywater. *Water science & Technology*, v. 62, p. 2357-2363.
20. FRIEDLER, E., HADARI, M. *Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings*. *Desalination*, v. 190, n. 1-3, p. 221-234, 2006.
21. GHAITIDAK, D. M., YADAV, K. D. *Greywater treatment for reuse: comparison of reuse options using analytic hierarchy process*. *Journal of water reuse and desalination*, v. 6, p. 108-124, 2016.
22. GHUNMI, L. A., ZEEMAN, G., FAYYAD, M., VAN LIER, J. B. *Grey water treatment in a series anaerobic-aerobic system for irrigation*. *Bioresource technology*, v. 101, p. 41-50, 2010.
23. GİRESUNLU, E., BAYKAL, B. B. A case study of the conversion of grey water to a flush water source in a Turkish student residence hall. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 16, n. 6, p. 1659-1667, 2016.
24. GISI, S. D., CASELLA, P., NOTARNICOLA, M., FARINA, R. *Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, Technologies and case studies*. *Civil engineering and environmental systems*, v. 33, n. 1, p. 35-54, 2015.



25. GREGORY, R., ZABEL, T., EDZWALD, J. *Sedimentation and Flotation in Letterman, Raymond D.(Ed). Water Quality and Treatment*. 1999.
26. GROSS, A., FRIEDLER, E., MAIMON, A., ALFIYA, T. *Greywater reuse*. CRC Press, 2015.
27. HEALTH CANADA – HA. Canadian guidelines for domestic reclaimed water for use in toilet and urinal flushing. 2010.
28. HOWE, K. J., HAND, D. W., CRITTENDEN, J. C., TRUSSELL, R. R., TCHOBANOGLOUS, G. *Princípios do Tratamento de Água*. São Paulo: Cengage, 624 p. 2016.
29. LI, F., WICHMANN, K., OTTERPOHL, R. *Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. Science of the Total Environment*, v. 407, n. 11, p. 3439-3449, 2009.
30. LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*. Átomo, 2008.
31. METCALF, L., EDDY, H. P. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. McGraw Hill Brasil, 2015.
32. METCALF, EDDY, ASANO T, BURTON FL, LEVERENZ HL, TSUCHIHASHI R, TCHOBANOGLOUS G, editors. *Water reuse: issues technologies, and applications*. 1st ed. New York: McGraw-Hill; 2006.
33. NOLDE, E. *Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings—over ten years experience in Berlin. Urban water*, v. 1, n. 4, p. 275-284, 2000.
34. NOUTSOPOULOS, C., ANDREADAKIS, A., KOURIS, N., CHARCHOUSI, D., MENDRINO, P., GALANI, A., KOUMAKI, E. *Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. Journal of environmental management*, p. 1-10, 2017.
35. OH, K. S., LEONG, J. Y. C., POH, P. E., CHONG, M. N., VON LAU, E. *A review of greywater recycling related issues: Challenges and future prospects in Malaysia. Journal of Cleaner Production*, v. 171, p. 17-29, 2018.
36. OLIVEIRA, L. O. V. *Características sensoriais e o risco microbiológico em águas cinza tratadas para reúso predial*. Vitória, 2015. Tese de doutorado – Centro Tecnológico – Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.
37. PORTO ALEGRE. Lei Municipal n. 10.206/2008. Cria o programa de conservação, uso racional e reaproveitamento das águas.
38. PIOLTINE, A., REALI, M. A. P. *Influence of flocs size and dissolved air concentration on the efficiency of flotation. Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 3, p. 513-523, 2015.
39. RAMPELOTTO, G. *Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reúso doméstico*. Santa Maria, 2014. Dissertação de mestrado – Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria, 2014.
40. RAWAT, V., NAIR, S., MALEKAR, M., OZA, D., KADAM, P. *Treatment of grey water using horizontal flow constructed wetland – A review. International advanced research journal in science, engineering and technology*, v. 5, n. 3, 28-30, 2018.
41. RODRIGUES, R. T. *Desenvolvimento da técnica LTM-BSizer para a caracterização de bolhas e avaliação de parâmetros no processo de flotação*. Porto Alegre, 2004. Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2004.
42. RODRIGUES, R. T., RUBIO, J. *DAF-dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry. International Journal of Mineral Processing*, v. 82, n. 1, p. 1-13, 2007.
43. RUBIO, J., SOUZA, M., SMITH, R. *Overview of flotation as a wastewater treatment technique. Mineral. Engineering*, v. 15, p. 139–155, 2002.
44. SANTOS, C., MATOS, C., TAVEIRA-PINTO, F. *A comparative study of greywater from domestic and public buildings. Water Science and Technology: Water Supply*, v. 14, n. 1, p. 135-141, 2014.
45. SÃO PAULO. Lei Municipal n. 14.018/2005. Regulamenta o Programa municipal de conservação e uso racional da água e reúso em edificações.
46. SINGH, V., KAUR, A., GHAWANA, T., GUPTA, N. C. *Feasibility study of treatment technologies for greywater to enhance water security. International journal of applied engineering research*, v. 13, n. 6, p. 4042-4048.
47. ZANETI, R., ETCHEPARE, R. G., RUBIO, J. *Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features. Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, p. 953-959, 2011.