

## **I-084 - INFLUÊNCIA DO TEMPO DE PROCESSO NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ EM FLOCULADORES TUBULARES HELICOIDAIS**

**Danieli Soares de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestra e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora do Instituto Federal do Espírito Santo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rodovia Governador José Sette, 184 - Itacibá - Cariacica - ES - CEP: 29150-410 - Brasil - Tel: (27) 3246-1648. E-mail: [danieli@ifes.edu.br](mailto:danieli@ifes.edu.br)

### **RESUMO**

O aperfeiçoamento das técnicas e tecnologias que promovem a melhoria das características da água a ser utilizada para abastecimento público tem sido muito estudado pela comunidade científica nas últimas décadas. Novas tecnologias para remoção de cor e turbidez em águas de abastecimento têm sido avaliadas, com enfoque na redução no tempo de processo, no custo de construção e manutenção das unidades e no consumo de produtos químicos. Diversos estudos evidenciam que o desempenho de unidades de floculação hidráulicas (não mecanizadas) pode ser melhorado por meio da utilização de geometrias que não produzam bruscas mudanças no escoamento interno das unidades, como visto nos floculadores hidráulicos comumente utilizados em estações de tratamento de água (ETAs) de pequeno porte. Essas mudanças bruscas podem causar a desestruturação dos flocos previamente formados, influenciando negativamente na eficiência do processo de tratamento. Com isso, o floculador tubular helicoidal (FTH), unidade alternativa de floculação avaliada por diversos pesquisadores brasileiros e estrangeiros, se mostra como uma opção interessante devido a seu escoamento helicoidal, composto por constantes e suaves mudanças na direção, tornando possível a interação entre partículas presentes na massa líquida sem a desestabilização dos flocos anteriormente formados. Neste trabalho foi realizada modelagem física de 24 floculadores tubulares helicoidais acoplados a um decantador, atuando em situações de baixos Números de Reynolds, visando avaliar a eficiência de remoção de turbidez neste tipo de unidade para uma turbidez inicial de 50 UT. Foi verificada nesta pesquisa a importância do tempo de processo na eficiência de remoção de turbidez, que promoveu variações significativas na eficiência do processo de remoção de turbidez. Além disso, foi verificado que a eficiência de remoção de turbidez aumenta com o aumento do tempo de processo até atingir um valor máximo; após este valor a eficiência decresce com o aumento do tempo. Outro resultado importante verificado neste trabalho é a confirmação que tempos significativamente inferiores aos verificados em unidades tradicionais de floculação são suficientes para a obtenção de altos valores de eficiência de processo. Estes resultados evidenciam a importância da correta escolha do tempo de processo para o projeto racional de FTHs e a poderosa ferramenta que esta unidade de floculação pode ser no processo de clarificação de águas e efluentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de água, floculação, floculadores tubulares helicoidais, tempos de processo.

### **INTRODUÇÃO**

A clarificação de águas, comumente formada pelas etapas de coagulação, floculação e decantação/ flotação, é de grande importância para o tratamento de águas e efluentes. Em especial, as etapas de coagulação e floculação visam aumentar o tamanho das partículas presentes na massa líquida, aumentando a eficiência de remoção de partículas muito pequenas, colóides e micro poluentes (Jarvis, Jefferson et al. 2005).

Em floculadores hidráulicos, os tempos de processo podem atingir valores na ordem de 20 a 30 minutos, como visto na NBR 12216, referente ao projeto de estações de tratamento de água para abastecimento de água para abastecimento público (Brasil 1992).

Dentre as diversas configurações de unidades de floculação, o floculador tubular helicoidal (conhecido por FTH) tem sido bastante estudado pela comunidade científica pelos seus excelentes resultados de eficiência na separação sólido-líquido e pelos baixos tempos de processo verificados (Grohmann, Reiter et al. 1981, Gregory

1982, Vigneswaran and Setiadi 1986, Al-Hashimi and Ashjyan 1989, Elmaleh and Jabbouri 1991, Hameed, Muhammed et al. 1995, Thiruvengkatachari, Ngo et al. 2002, Carissimi and Rubio 2005, Sartori 2006, Carissimi and Rubio 2007, Silveira, Silva et al. 2009, G., Sanders et al. 2011, Oliveira and Teixeira 2017, Oliveira and Teixeira 2017, Oliveira and Teixeira 2018). Neste tipo de unidade, a agitação necessária para a formação de flocos é obtida por meio da própria massa líquida, o que classifica este tipo de unidade como um floculador hidráulico – ou seja, que não necessita de equipamentos mecanizados para o seu funcionamento.

A maioria dos trabalhos que avaliam o uso de FTHs enfatiza os baixos tempos de processo verificados, sendo possível atingir valores de eficiência superiores a 90% para tempos de processo na ordem de 1 min (Oliveira 2018), colocando este parâmetro como um diferencial na utilização deste tipo de unidade. Com base nisso, foi estudado neste trabalho a influência do tempo de processo na eficiência do processo de floculação (avaliado indiretamente neste trabalho pela remoção de turbidez) em floculadores tubulares helicoidais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a influência do tempo de processo na eficiência de remoção de turbidez em FTHs foram realizados testes em 3 arranjos, com diâmetros de tubo iguais a 3/8", 1/2" e 5/8", respectivamente. O diâmetro de enrolamento utilizado foi igual a 10 cm e não foi dado espaçamento entre voltas.

Para avaliação do tempo de processo em cada um dos arranjos estudados, foram confeccionados FTHs em 8 comprimentos distintos, como mostrado na Tabela 1, na qual é possível verificar o comprimento de cada FTH e seu correspondente volume.

**Tabela 1 – Valores de comprimento para os três arranjos estudados.**

Volume dos reatores (cm <sup>3</sup> )	Comprimento dos reatores (m)		
	Arranjo 1 (d = 3/8")	Arranjo 2 (d = 1/2")	Arranjo 3 (d = 5/8")
187,5	2,96	-	-
375	5,26	2,96	1,89
750	10,53	5,92	3,79
1.125	15,79	8,88	5,68
1.500	21,05	11,84	7,58
1.875	26,31	14,80	9,47
2.250	31,58	17,76	11,37
2.625	36,84	20,72	13,26
3.000	-	23,68	15,16

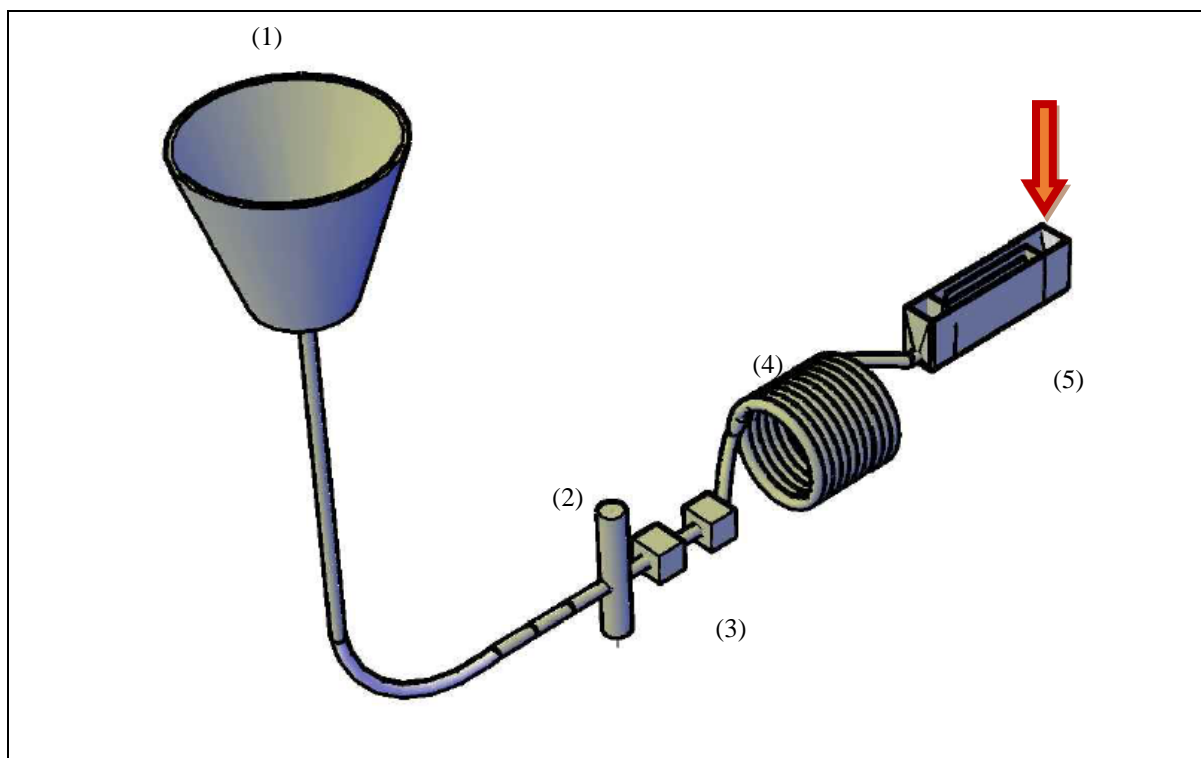
Já os tempos de processo, obtidos pela razão entre o volume da unidade e a vazão de alimentação, são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Tempos de processo para cada configuração/arranjo estudados.**

Configuração	Tempo de processo (s)		
	Arranjo 1	Arranjo 2	Arranjo 3
Configuração 1	5,6	11,2	11,2
Configuração 2	11,2	22,5	22,5
Configuração 3	22,5	33,7	33,7
Configuração 4	33,8	45,0	45,0
Configuração 5	45,0	56,2	56,2
Configuração 6	56,2	67,5	67,5
Configuração 7	67,5	78,7	78,7
Configuração 8	78,8	90,0	90,0

A vazão de alimentação foi mantida constante em todos experimentos e seu valor é 2L/min.

O esquema representativo do circuito hidráulico utilizado é visto na Figura 1. Inicialmente foi feita uma mistura de água com bentonita, produzindo uma água de teste de turbidez igual a 50 UT. Esta água foi colocada no reservatório (1) e, após o início do experimento, foi controlada a vazão de alimentação por meio de um rotâmetro (2). Em seguida foi feita a adição de coagulante (sulfato de alumínio) e alcalinizante (hidróxido de sódio) - (3). O fluido foi então encaminhado ao FTH (4) e, por fim, levado a uma unidade de decantação (5), onde foi feita a coleta das amostras para avaliação da eficiência de remoção de turbidez. Essa eficiência foi obtida por meio dos valores de turbidez inicial e final do efluente avaliado.



**Figura 1 - Representação esquemática do circuito hidráulico utilizado.**

Destaca-se que as características do decantador foram mantidas constantes, de forma que o mesmo não influenciasse na comparação entre as unidades de floculação avaliadas. O decantador era composto de um tanque retangular, com escoamento horizontal, composto de um compartimento de entrada, três compartimentos definidos a partir da introdução de chicanas e um vertedor de saída, onde se efetuou a coleta das amostras para análise da turbidez remanescente. O projeto do decantador foi realizado com base no tempo de detenção, velocidade do fluxo, vazão de escoamento e dispositivos de entrada e saída.

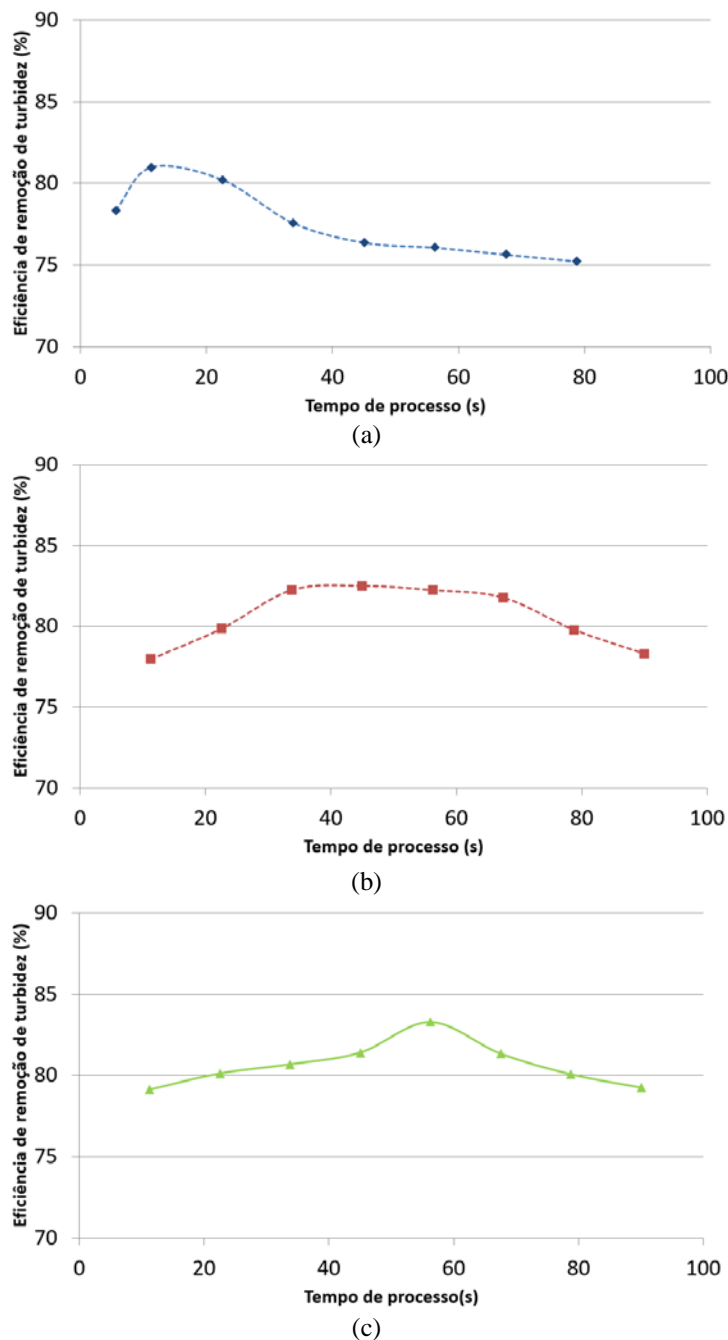
Para avaliação da eficiência de remoção de turbidez foi utilizada a Equação 1, que relaciona a turbidez no início do processo (antes da passagem do fluido pelo floculador) com a turbidez remanescente (após a passagem pelo floculador e pelo decantador). Na saída do decantador há uma região para a coleta de amostras (seta vermelha na Figura 1), onde foi obtida a turbidez remanescente da unidade. A turbidez inicial e remanescente foi medida por meio de um turbidímetro marca Hach.

$$Eficiência (\%) = \left\{ 1 - \left( \frac{turbidez \text{ remanescente}}{turbidez \text{ inicial}} \right) \right\} \times 100$$

**Equação 1**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de eficiência de remoção de turbidez dos arranjos 1, 2 e 3, em função do tempo de processo dos FTHs, pode ser verificado na Figura 2.



**Figura 2 – Eficiência de remoção de turbidez em função do tempo de processo: (a) arranjo 1, (b) arranjo 2, e (c) arranjo 3.**

Para os três arranjos analisados é possível verificar uma característica de aumento de eficiência de remoção de turbidez até um ponto máximo, caracterizando uma eficiência de remoção de turbidez máxima, que varia de acordo com as características da unidade de floculação. Após este valor, a eficiência decresce com o aumento do tempo de processo, indicando que a avaliação deste parâmetro é de suma importância no projeto de unidade de floculação com escoamento helicoidal.

Para o arranjo 1 foi necessário um tempo de floculação de apenas 11,5 s para atingir a eficiência máxima, igual a 81,0%. Já para o arranjo 2 a eficiência máxima foi obtida após 45,0 s, com eficiência máxima de 82,5%. Por fim, o arranjo três apresentou eficiência de 82,3% num tempo de processo de 56,3 s. Estes resultados mostram que os tempos necessários para a obtenção de valores satisfatórios de eficiência de remoção de turbidez são significativamente inferiores aos obtidos em unidades tradicionais de floculação, indicando que este tipo de unidade pode ser uma ferramenta útil na clarificação de águas e efluentes.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa confirmam a importância do tempo de processo na eficiência de remoção de turbidez em floculadores tubulares helicoidais. Foi verificada a presença de uma faixa ótima de remoção de turbidez, cujo tempo de processo varia de acordo com características geométricas da unidade de floculação. A eficiência de remoção de turbidez aumenta com o aumento do tempo de processo até atingir um valor máximo; após este valor a eficiência decresce com o aumento do tempo. Além disso, tempos significativamente inferiores aos verificados em unidades tradicionais de floculação são verificados - estes resultados evidenciam a importância da correta escolha do tempo de processo para o projeto racional de FTHs e a poderosa ferramenta que esta unidade de floculação pode ser no processo de clarificação de águas e efluentes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-HASHIMI, M. A. I. AND A. S. K. ASHJYAN. Effectiveness of helical pipes in the flocculation process of water Filtration and Separation Journal v.26, n.6 p.422-429, 1989.
2. BRASIL. NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: 18. (1992).
3. CARISSIMI, E. AND J. RUBIO. The flocs generator reactor – FGR: a new basis for flocculation and solid-liquid separation. International Journal of Mineral Processing v.75, p.237 – 247, 2005.
4. CARISSIMI, E. AND J. RUBIO. Characterization of the high kinetic energy dissipation of the Flocs Generator Reactor (FGR). International Journal of Mineral Processing v.85, p.41-49, 2007.
5. ELMALEH, S. AND A. JABBOURI. Flocculation energy requirement. Water Research v.25, n.8 p.939-943, 1991.
6. G., F. V., et al. Flocculation kinetics and aggregate structure of kaolinite mixtures in laminar tube flow. J Colloid Interface Sci v.355, p.96-105, 2011.
7. GREGORY, J. Particle interactions in flowing suspensions. Advances in Colloid and Interface Science v.17, n.1 p.149-160, 1982.
8. GROHMANN, A., et al. New flocculation units with high efficiency. Water science and technology v.13, n.11/12 p.567-573, 1981.
9. HAMEED, M. S., et al. Improved technique for river water flocculation. Filtration & Separation v.32, n.2 p.63-68, 1995.
10. JARVIS, P., et al. A review of floc strength and breakage. Water Research v.39, p.3121-3137, 2005.
11. OLIVEIRA, D. S. AND E. C. TEIXEIRA. Experimental evaluation of helically coiled tube flocculators for turbidity removal in drinking water treatment units. Water SA v.43, n.3 p.378-386, 2017.
12. OLIVEIRA, D. S. AND E. C. TEIXEIRA. Hydrodynamic characterization and flocculation process in helically coiled tube flocculators: an evaluation through streamlines. International Journal of Environmental Science and Technology, p.1-14, 2017.
13. OLIVEIRA, D. S. AND E. C. TEIXEIRA. Swirl number in helically coiled tube flocculators: theoretical, experimental, and CFD modeling analysis. International Journal of Environmental Science and Technology, 2018.
14. OLIVEIRA, D. S. D. Agentes naturais como auxiliares na clarificação de águas: moringa oleífera e aloe vera em Floculadores Tubulares Helicoidais. 18º Simpósio Luso-brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 2018.
15. SARTORI, M. Caracterização Hidrodinâmica de Floculadores Tubulares Helicoidais por Meio de Simulação Numérica Tridimensional. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Vitória, Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado: 107. (2006).
16. SILVEIRA, A. N. D., et al. Treatment of acid mine drainage (AMD) in South Brazil: comparative active processes and water reuse. International Journal of Mineral Processing v.93, p.103 – 109, 2009.

17. THIRUVENKATACHARI, R., et al. Flocculation-cross-flow microfiltration hybrid system for natural organic matter (NOM) removal using hematite as a flocculent. *Desalination* v.147, n.1 p.83-88, 2002.
18. VIGNESWARAN, S. AND T. SETIADI. Flocculation study on spiral flocculator. *Water, Air, and Soil Pollution* v.29, n.2 p.165-188 1986.