

## I-070 - FLOCULADORES TUBULARES HELICOIDAIS: UM NOVO PARADIGMA OPERACIONAL PARA A FLOCULAÇÃO?

**Maurício Sartori<sup>(1)</sup>**

Engenheiro de Minas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Doutorando em Engenharia Ambiental na Universidade Federal do Espírito Santo. Professor do curso técnico em Mineração e do Curso de Engenharia de Minas - Campus Cachoeiro de Itapemirim - do Instituto Federal do Espírito Santo.

**Danieli Soares de Oliveira<sup>(1,2)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora do curso de Engenharia de Produção - Campus Cariacica - do Instituto Federal do Espírito Santo.

**Edmilson Costa Teixeira<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Recursos Hídricos pela University of Bradford, Inglaterra. Professor do Programa de pós graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Fernando Ferrari, S/N, Goiabeiras, Vitória, ES. CEP: 29060970 - Brasil - Tel: (27) 40092675

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Rodovia Governador José Sette, S/N, Itacibá, Cariacica, ES. CEP: 29145440 - Brasil - Tel: (27) 32461600

### RESUMO

No tratamento de água e efluentes, a etapa de floculação é conhecida como mistura lenta, uma vez que requer moderados níveis de agitação/dissipação de energia, com valores de gradiente médio de velocidade ( $G$ ) entre  $10s^{-1}$  e  $70s^{-1}$ , e tempos de detenção hidráulica ( $t$ ) entre 20 e 30 minutos. Embora estas condições sejam verdadeiras para os floculadores hidráulicos comumente empregados nas estações de tratamento de água, ela não se mostra coerente para os floculadores tubulares helicoidais (FTHs). Estes reatores têm apresentado elevada eficiência de formação de flocos, com tempos de detenção hidráulica consideravelmente reduzidos, e níveis de dissipação de energia sensivelmente superiores aos geralmente praticados. Desta forma, o presente estudo visa apresentar e discutir resultados de eficiência de formação de flocos neste tipo de unidade, de forma a inferir acerca da floculação em unidades de alto desempenho, cujos níveis de energia e os tempos teóricos de detenção se afastam consideravelmente dos valores verificados em floculadores hidráulicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Floculação, gradiente médio de velocidade, floculadores tubulares helicoidais, eficiência de remoção de turbidez; tempo teórico de detenção.

### INTRODUÇÃO

A etapa de clarificação, presente em diversas estações de tratamento de água brasileiras, constitui-se de um conjunto de fenômenos físicos e químicos visando a redução do número de partículas suspensas e coloidais na massa líquida. A primeira etapa da clarificação consiste na desestabilização das partículas presentes na massa líquida pela inserção de reagentes químicos (geralmente sais de alumínio ou ferro) - coagulação. Após isso há a floculação, que consiste na formação de flocos de forma a facilitar a separação sólido-líquido por meio de flotação ou sedimentação.

Uma metodologia inovadora tem sido empregada em alguns laboratórios de pesquisa brasileiros visando a formação de flocos por meio de tubos enrolados em configuração helicoidal, de forma a aumentar o grau de mistura da unidade e promover um aumento na interação entre as partículas desestabilizadas pela etapa de coagulação. Tal metodologia, conhecida por Floculador Tubular Helicoidal (FTH), tem apresentado bons resultados de eficiência na separação sólido-líquido, como mostrado nos trabalhos de [1-5].

O atual paradigma considerado no projeto de floculadores consiste em altos tempos teóricos de detenção e baixos valores de gradiente médio de velocidade [6]. Já para a coagulação são considerados altos gradientes de

velocidade e baixo tempo teórico de detenção. Os valores indicados pela NBR 12216/1992 [7] são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 - Valores de gradiente médio de velocidade e tempo teórico de detenção indicados pela NBR 12216/1992**

Parâmetro	Mistura Rápida (coagulação)	Floculação
Gradiente Médio de Velocidade	700 a 1100 s <sup>-1</sup>	70 a 10 s <sup>-1</sup>
Tempo teórico de detenção	5s	20 a 30 min

No entanto, dado o aumento no grau de mistura verificado em FTHs devido ao enrolamento helicoidal, espera-se que os valores de gradiente médio de velocidade sejam maiores do que os verificados em unidades tradicionais de floculação; consequentemente, os tempos teórico de detenção para a obtenção de flocos sedimentáveis serão menores. Desta forma, o objetivo geral deste trabalho é apresentar e discutir resultados de eficiência e de parâmetros de projeto de Floculadores Tubulares Helicoidais, obtidos por meio de Modelagem Física, evidenciando as condições operacionais destes reatores e suas diferenças com o atual paradigma da floculação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

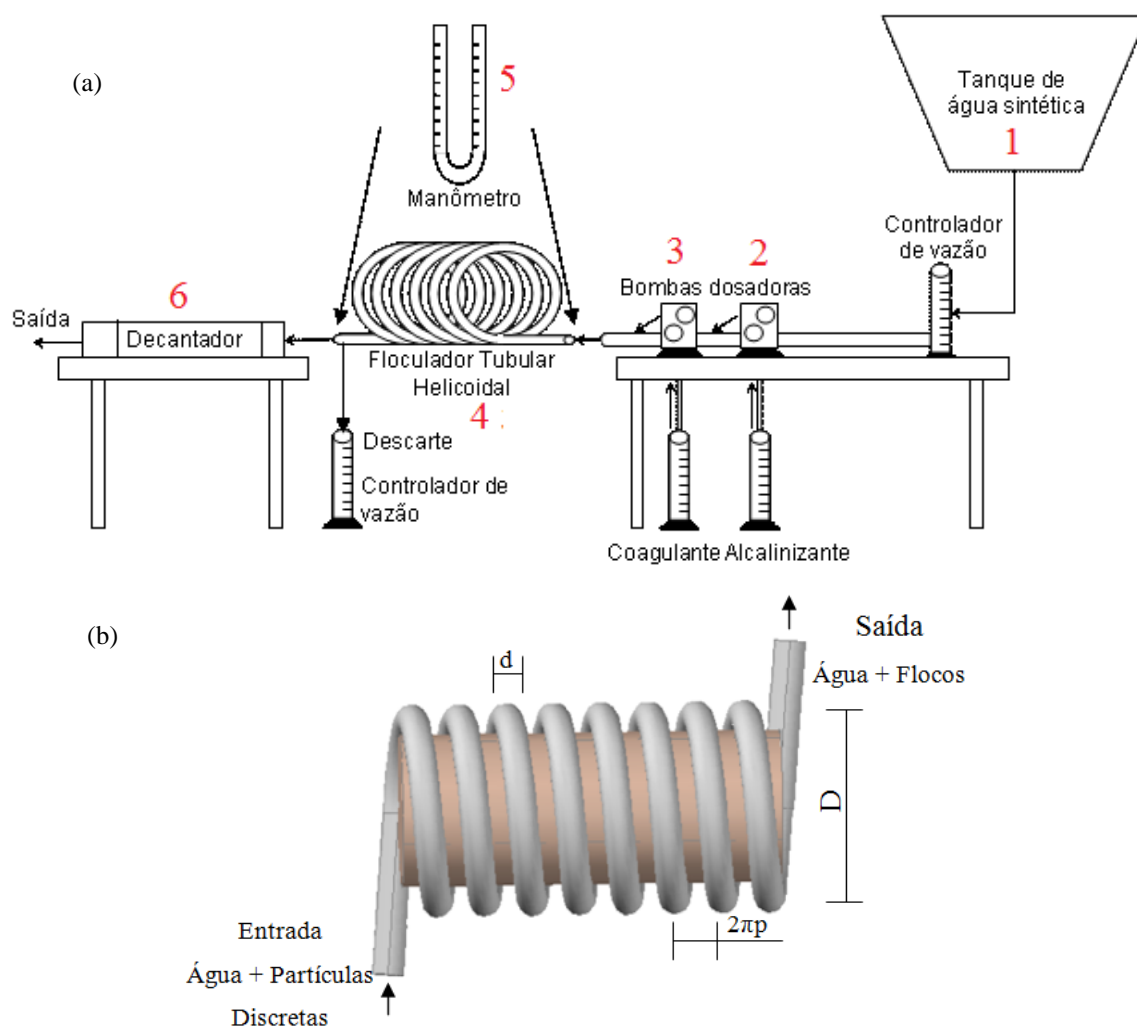
Para este estudo, foram realizados testes experimentais em 12 configurações distintas de floculadores tubulares helicoidais (FTHs), visando à identificação das principais variáveis operacionais empregadas e a eficiência na formação de flocos neste tipo de unidade.

A eficiência da formação de flocos foi avaliada de maneira indireta (após uma etapa de sedimentação), por meio do parâmetro eficiência de remoção de turbidez (Equação 1).

$$Eficiência(\%) = \left\{ 1 - \left( \frac{Turbidez Remanescente}{Turbidez Inicial} \right) \right\} \times 100$$

**Equação 1**

Em todos os testes realizados a turbidez inicial foi considerada constante e igual a 50 uT. Uma representação esquemática do circuito hidráulico utilizado é apresentada na Figura 1(a), com detalhamento das principais características geométricas do FTH na Figura 1(b).



**Figura 1- (a) Representação esquemática do circuito hidráulico utilizado, e (b) Detalhamento das principais características geométricas do FTH**

As características geométricas dos FTHs empregados são apresentadas na Tabela 1, onde  $d$  é o diâmetro do tubo,  $D$  é o diâmetro de enrolamento da unidade,  $p$  é o passo da unidade e  $L$  é o comprimento do reator. Destaca-se que todas as configurações foram testadas com vazão de alimentação de  $2L \cdot \text{min}^{-1}$ .

**Tabela 2 - Parâmetros Geométricos dos Reatores avaliados neste Trabalho.**

Reator	$d(m)$	$D(m)$	$p(m)$	$L(m)$
1	0,0095	0,1135	0,0022	2,63
2	0,0095	0,1135	0,0022	5,26
3	0,0095	0,1135	0,0022	10,53
4	0,0095	0,1135	0,0022	15,8
5	0,0127	0,1167	0,0027	2,96
6	0,0127	0,1167	0,0027	5,92
7	0,0127	0,1167	0,0027	8,88
8	0,0127	0,1167	0,0027	11,84
9	0,0159	0,1199	0,0032	1,89
10	0,0159	0,1199	0,0032	3,79
11	0,0159	0,1199	0,0032	5,68
12	0,0159	0,1199	0,0032	7,58

As expressões para o cálculo dos parâmetros tempo teórico de detenção ( $t$ ) e gradiente médio de velocidade ( $G$ ) são apresentadas nas Equação 2 e Equação 3, respectivamente. Destaca-se que para o cálculo do gradiente médio de velocidade foi utilizada a perda de carga da unidade ( $h_f$ ), obtida por meio do manômetro acoplado nas seções de entrada e saída dos flocladores.

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

Equação 2

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \cdot h_f}{\mu \cdot t}}$$

Equação 3

Onde:

$t$  Tempo teórico de detenção  
 $V$  Volume do reator  
 $Q$  Vazão de alimentação  
 $G$  Gradiente médio de velocidade

$\gamma$  Peso específico  
 $\mu$  Viscosidade absoluta  
 $h_f$  Perda de carga do reator

## RESULTADOS

Os resultados de eficiência de remoção de turbidez obtidos para os 12 flocladores tubulares helicoidais mostram que os mesmos são bastante eficientes, com eficiências de remoção de turbidez superiores a 75% em todos os casos avaliados (Figura 2).

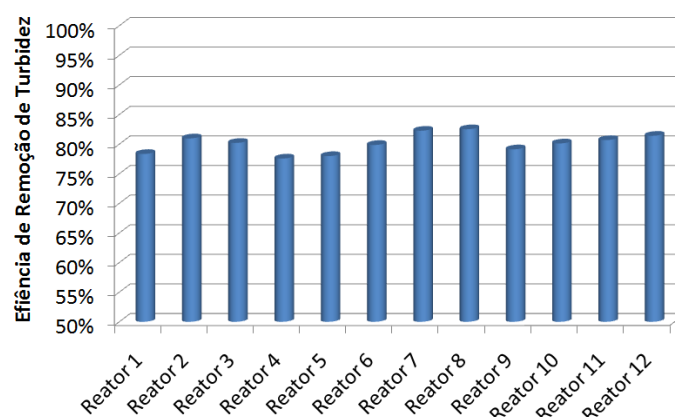


Figura 2 - Eficiência de remoção de turbidez dos 12 reatores testados

Além disso, uma análise dos valores de tempo teórico de detenção (Figura 3) e gradiente médio de velocidade (Figura 4) mostra que os mesmos se afastam consideravelmente do que costuma ser verificado em flocladores hidráulicos, indicando que o paradigma de baixo gradiente médio de velocidade e alto tempo teórico de detenção não é aplicado quando se trata de flocladores tubulares helicoidais. Este resultado concorda com outros trabalhos que retratam a floclação em FTHs, dentre os quais se destacam os trabalhos de [1-5].

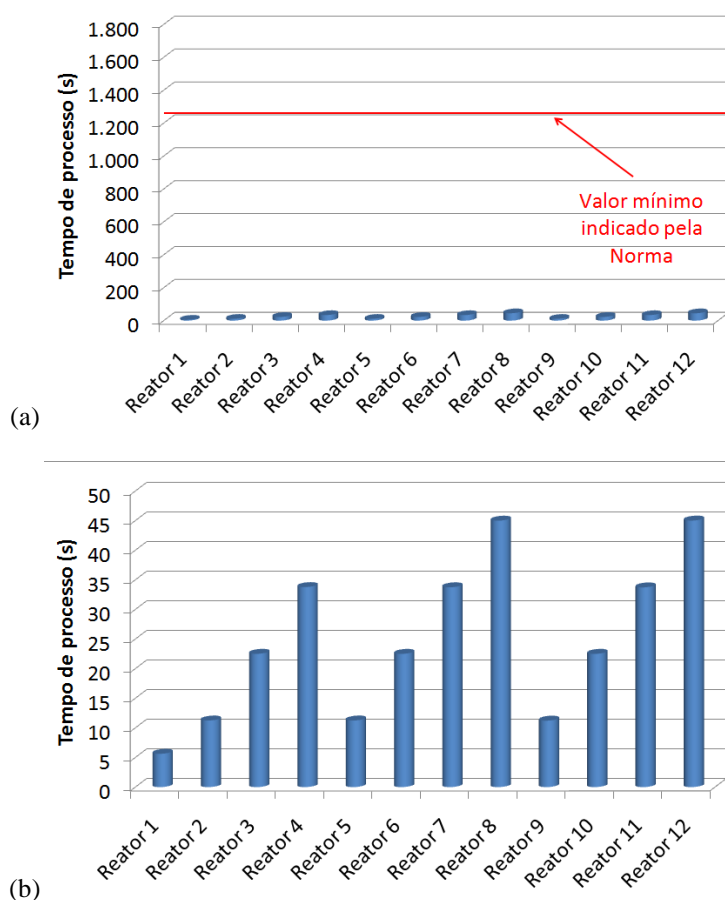


Figura 3- (a) Tempo teórico de detenção obtido para os 12 reatores estudados; (b) detalhe dos valores obtidos.

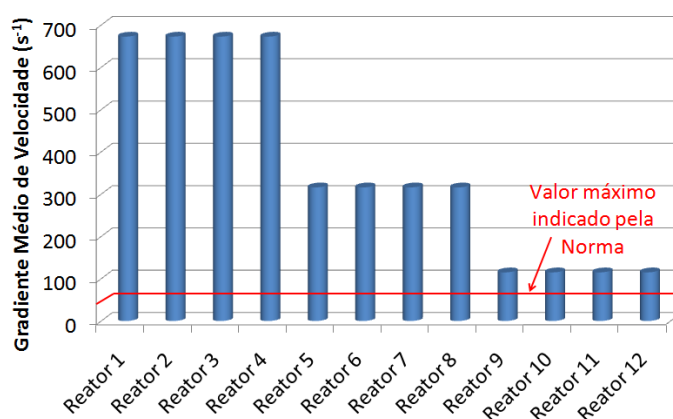


Figura 4 - Gradiente Médio de Velocidade obtido para os 12 reatores estudados

Os valores de tempo teórico de detenção obtidos variaram de 5 a 45 segundos, significativamente inferiores aos verificados em unidades convencionais de floculação onde a agitação no interior do reator se dá pelo próprio movimento do fluido ao longo da unidade. Nestes reatores, os tempos teóricos de detenção variam, em geral, entre 20 a 30 minutos.

Já os valores de gradiente médio de velocidade são superiores aos verificados em floculadores hidráulicos, comumente inferiores a  $70 \text{ s}^{-1}$ . Neste trabalho todos os gradientes médios de velocidade foram superiores a  $70 \text{ s}^{-1}$ , chegando a atingir valores superiores a  $600 \text{ s}^{-1}$ .

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O atual paradigma operacional da floculação, composto pelo conceito de baixo gradiente médio de velocidade (inferior a  $70 \text{ s}^{-1}$ ) e alto tempo teórico de detenção (entre 20-30 minutos) não foi verificado nos floculadores tubulares helicoidais avaliados neste trabalho. Destaca-se que os FTHs testados apresentaram satisfatória eficiência de processo, com remoção de turbidez superior a 75%. Este resultado indica que é possível obter alta eficiência de processo com baixos tempos e alto grau de agitação na massa líquida, como verificado em floculadores de enrolamento helicoidal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CARISSIMI, E. Reator Gerador de Flocos – RGF: Concepção e Desenvolvimento Básico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
2. PELISSARI, L.M.T. Influência de parâmetros de projeto no desempenho do floculador tubular helicoidal aplicado ao tratamento de água de abastecimento. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.
3. CARISSIMI, E. Desenvolvimento do Reator Gerador de Flocos (RGF): aspectos teóricos e aplicações no tratamento e reúso de águas e efluentes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
4. SILVA, R.C.D. Avaliação da Influência da geometria e Dinâmica do escoamento de Floculadores Tubulares Helicoidais na Redução de Turbidez, utilizando Modelagem Física. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.
5. OLIVEIRA, D.S.D. Avaliação da Eficiência de Remoção de Turbidez em função de variações no comprimento de Floculadores Tubulares Helicoidais. UFES, Vitória, 2008.
6. LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Editora átomo: Campinas, São Paulo, Vol. 3ª Edição, 2010.
7. BRASIL. NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, p 18, 1992.