

157 – TEMPO DE DENTEÇÃO EM DIFERENTES TIPOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Maria Cecília Rodrigues Borges⁽¹⁾

Química Industrial pela Universidade Estadual de Goiás. Perícia Judicial (FAC-Lions). Direito pela Faculdade Cambury. Pós-Graduada em MBA e Gestão Ambiental pelo IPOG. Pós-Graduada em Sistema de Abastecimento de Água pelo IPOG. Mestrando em Engenharia Ambiental e Sanitária. Técnica Industrial da SANEAGO-GO

Alcío Jacobson di Silva Peres⁽²⁾

Administrador pela Universidade Paulista. Operador da SANEAGO-GO Gestor da Superintendência Regional Operacional do Interior na Saneago.

Sandra Cristina dos Santos Macedo⁽³⁾

Técnica em Saneamento pela Escola Técnica Federal de Goiás/atual CEFET. Licenciatura em Biologia pela Faculdade Estadual Vale do Acaraú. Técnica Industrial da SANEAGO-GO.

Steffany Kelly de Sousa Silva⁽⁴⁾

Química (UFMT), Esp. em qualidade e gestão ambiental (UFG)

Nora Kátia Saavedra Del Aguila Hoffmann⁽⁵⁾

Bióloga e professora da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP

Endereço⁽¹⁾: Avenida Fued José Sebba, 1245, Jardim Goiânia - Goiânia - Goiás – 74805-100 - Brasil - Tel: +55 (62) 99111-4288 e-mail: mariacecilia@saneago.com.br

RESUMO

Para realizar o tratamento de água ocorre a desestabilização molecular de partículas coloidais presente na água, que são submetidas em câmaras ou dispositivos, assim ocorrerá a floculação convencional. Por serem interações com encontros moleculares diferentes na aplicação externa de energia, a NBR 12.216 menciona que se pode adotar os valores de 20 a 30 min para floculador hidráulico; e de 30 a 40 min para floculadores mecanizados. Entretanto a NBR 12.216 (1992) não estabelece o tempo que se deve ter para sistemas como fluxo laminar. Dessa forma, independente do tempo de detenção é primordial , conseguir produzir uma água que atenda os quesitos de potabilidade, conforme específica a Portaria 888 de 2021. Atualmente, na Saneago (Saneamento de Goiás) existe um Floco-Decantador Multicone, que tem uma estrutura cônica, no qual está condensada floculação e decantação, é uma unidade aberta, que se torna visível a saída do tratamento. A operação é acompanhada pelo nível do lodo, que quando estiver excedente se realiza a descarga deste resíduo para não comprometer a qualidade da água. O objetivo desse trabalho foi calcular o tempo de detenção em sistemas com interações de encontros de flocos pelo sistema pericinético e ortocinético com o intuito de controle operacional e avaliação da estação de tratamento em tempo real simulando a passagem da água, e comparar o tempo de detenção da Estação de Tratamento com diferentes sistemas de floculação e decantação com a vazão. Com os resultados obtidos, estimou-se que o tempo de detenção seria menor com aplicação de forças externas ao fluxo turbulento. Entretanto, ocorreu o inverso que foi a redução de aproximadamente 33% do tempo de detenção ao comparar os dois sistemas. Outro fator a interferir nessa redução de tempo foi a verticalização da sedimentação, semelhante ao movimento do floco que ocorre na decantação de manta de lodo. Percebeu-se que para realização do tratamento, mesmo que pareça simples de analisar o fluxo da entrada de água, existe uma grande diferença, ao avaliar o tempo de detenção, que na interação ortocinética com tratamento mais célere, tem a verticalização da taxa de escoamento do floco.

PALAVRAS-CHAVE: Tempo de Detenção, Floco-Decantador, Tratamento, Água.

INTRODUÇÃO

Para realizar o tratamento de água é necessário ter a desestabilização molecular de partículas coloidais presentes na água, e submeter em câmaras ou dispositivo, assim ocorrerá a floculação. Nas câmaras existiram movimentos, que permitiram reuni-las para ter a formação de floco. Segundo VIANNA (2019), menciona que a água deve se mantida em agitação durante certo tempo, de forma que as partículas desestabilizadas se choquem entre si, para se ter a formação do floco.

Existem dois tipos de interações, que são pericinético e ortocinético. O sistema ortocinético desenvolvido pelo modelo matemático de Smoluchowski (1916), destaca eficiência em encontros particulares em meio laminar, no qual tradicionalmente não é usual em tratamento de água. Esse tipo de interação, segundo MORUZZI et al. (2016), as partículas na floculação estão monodispersas, as colisões envolvem apenas duas partículas e a eficiência de colisão é única para todas as partículas. Assim, não há uma força externa na interação.

Ao avaliar a interação em encontro pericinéticos, segundo DI BERNARDO, *et al.* (2017), ao aplicar uma energia externa com dispositivos de agitação hidráulica ou mecânicos, para propiciar a colisão, promoverá a interação pericinética.

Por serem interações com encontros moleculares diferentes na aplicação externa de energia, a NBR 12.216 menciona que se pode adotar os valores de 20 a 30 min para floculador hidráulico; e de 30 a 40 min para floculadores mecanizados. Entretanto, a NBR 12.216 (1992) não estabelece o tempo que se deve ter para sistemas como fluxo laminar. Independente do tempo de detenção é primordial, conseguir produzir uma água que atenda os quesitos de potabilidade, conforme específica a Portaria 888 de 2021.

Atualmente, na Saneago (Saneamento de Goiás) existe m Floco-Decantador Multicone (Figura 01), desenvolvido por Edmilson de Menezes Silva (1995), que apresente de uma estrutura cônica, no qual faz está condensada floculação e decantação, é uma unidade aberta, que se torna visível a saída do tratamento. Dessa forma é possível acompanhar o nível do lodo e avaliar a qualidade da água decantada. A operação é acompanhada pelo nível do lodo, que quando este estiver excedente se realiza a descarga deste resíduo para não comprometer a qualidade da água.



Figura 1 – Estação de Tratamento de Água – Brazabrantes/GO
 Fonte: Saneago (2023)

Esse equipamento tem o fluxo laminar e a verticalização de sedimentos, semelhante ao decantador de manta de lodo, com escoamento verticalizado de sedimentação. Segundo DI BERNARDO (2017), salienta que a taxa de escoamento superficial é comumente maior que aquelas usualmente adotadas para os decantadores de escoamento horizontal. A partir dessas diferenças, o tratamento da água, cumpre com os parâmetros estabelecidos pela Portaria MS n° 888/2021 (BRASIL, 2021).

OBJETIVOS

Objetivo desse trabalho foi calcular o tempo de detenção em sistemas com interações de encontros de flocos pelo sistema pericinético e ortocinético com o intuito de controle operacional e avaliação da estação de tratamento em tempo real simulando a passagem da água, e comparar o tempo de detenção da Estação de Tratamento de Água com diferentes sistemas de flocação e decantação, mas com a mesma vazão.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para avaliar o tempo de detenção do tratamento foram utilizados os critérios estabelecidos pela norma NBR 12.216 (1992), que determina o tempo de detenção para o floculador, conforme o item 5.9.2.1, indica que podem ser adotados valores de 20 a 30 min para os floculadores hidráulicos, e de 30 a 40 min para os floculadores mecânicos.

Para o decantador, a NBR 12.216 (1992) não menciona tempo que a água permanecerá na unidade operacional, e o critério utilizado para concepção foi a velocidade de sedimentação. Mas, para os estudos de caso podem ser realizados o cálculo considerando a vazão operacional e o volume da unidade operacional, que permitem obter o tempo percorrido do fluido até a calha coletora de água decantada.

A equação aplicada foi da Vazão (Q), que considera o volume dividido pelo tempo. Conhecendo-se o volume da unidade operacional e Vazão de entrada aplicou-se a seguinte equação 1:

$$Q = V/t \quad \text{Eq. 1}$$

Sendo:

Q = Vazão em L/s

V = Volume (L)

t = Tempo (s)

Onde:

$$t = V/Q \quad \text{Eq. 2}$$

É necessário atenção com as unidades operacionais, principalmente de volume, devido a que é usual registrar a vazão em L/s, já o volume se encontra em m³ (metro cúbicos)

As escolhas dos sistemas deram-se devido à diferença de interação em encontros de flocos. Foram avaliadas duas Estações de Tratamento de Água, localizadas nas cidades de Adelândia e Israelândia.

Caso 01: Adelândia – GO

Adelândia (GO), distância de 112 Km de Goiânia, com população de aproximadamente 2.297 mil hab. (IBGE 2022). As unidades operacionais do sistema de tratamento de água de Adelândia são: flocação do tipo chicana vertical, com o volume de 11,42 m³, e dois (2) decantadores que são convencionais com volume aproximadamente de 34,31 m³ cada câmara, portanto volume total de 68,62 m³ e 4 filtros autolaváveis. A vazão nominal da ETA é de 10 L/s.

Caso 02: Israelândia – GO

Israelândia, distância de 197 Km de Goiânia, com população de aproximadamente 2.560 mil hab. (IBGE 2022). Possui estação de tratamento, com uma unidade operacional de Foco-decantador Multicone, onde a água ingressa coagulada, em regime laminar, onde a flocação e sedimentação dos flocos acontecem simultaneamente (DI BERNARDO, 2017). Trata-se de um sistema semelhante ao decantador de manta de lodo, do qual é apresentado nesta pesquisa. O volume dessa unidade operacional é de 55.000 L ou 55 m³, conforme informado pelo fabricante. A vazão nominal da ETA é de 10 L/s.

Para as duas Estações de Tratamento os floculadores são hidráulicos, sendo o floculador de Adelândia o sistema de flocação é de fluxo turbulento, depende das colisões das câmaras para ter agitação, ao passar a água para o Decantador Convencional, não ocorre turbulência, seu fluxo é laminar e facilita a sedimentação. O tratamento de Israelândia é laminar, não pode haver turbulência para não ocorrer quebra do flocos, ao mesmo tempo que ocorre a flocação por ser verticalizado ocorre a sedimentação.



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A coagulação, deve ocorrer com agitação relativamente lenta, se comparar as agitações de coagulação e floculação. Essa diferença de agitação tem por objetivo em proporcionar encontros dos flocos e agregar as partículas menores com as partículas maiores. Logo, com o aumento do tamanho do floco, a força de cisalhamento podem causar a ruptura. A formação de floco grande dependerá de dois fenômenos simultâneos que serão a agregação e a ruptura, que conduz para a distribuição e formação dos tamanhos dos flocos. Para ocorrer essa formação depende do gradiente, da velocidade e do tempo de contato entre as partículas. Dessa forma, o tempo é uma variável que deve ser acompanhada para verificar a eficiência do tratamento. (DI BERNARDO, *et al.*, 2017)

Conforme apresentado por Ferreira Filho (2022), destaca que para ocorrer a separação de partículas é necessário que passem por um processo de sedimentação. Esse fenômeno de separação ocorre devido as partículas terem passados pelo processo de coagulação e floculação, que possibilita a agregação coloidal, e consegue alcançar um diâmetro físico, que devido a velocidade de sedimentação fará a remoção por gravidade.

É importante apresentar que a sedimentação gravitacional é um processo físico, que as partículas são transportadas para o fundo do decantador por meio de processo de sedimentação gravitacional. As informações apresentadas são descrições operacionais que ocorrem numa ETA Convencional, com as unidades de floculação e sedimentação horizontal. O estudo de caso considerando nesse caso foi Adelândia. Os cálculos de detenção para esse tipo de sistema vem especificados na norma NBR 12.216 (1993). Os resultados dessa valiação na ETA foram os seguintes:

Para o cálculo de detenção em cada unidade operacional da ETA de Adelândia, estimando-se uma vazão de aproximadamente 10 L/s ou 0,01 m³/s, foi:

$$\text{Tempo de Detenção do Floculador} = 11,42/0,01 = 1.142 \text{ segundos}$$

$$\text{Transformando em Minutos} = 1.142/60 = 19,03 \text{ minutos}$$

$$\text{Tempo de Detenção do Decantador} = 68,62/0,01 = 6.862 \text{ segundos}$$

$$\text{Transformando em Minutos} = 114,4 \text{ minutos}$$

$$\text{Transformando em Horas} = 1h \text{ e } 54 \text{ minutos}$$

Com a soma do tempo das duas unidades operacionais, o tratamento desde a entrada do floculador até saída do decantador estima-se que seja de aproximadamente 2 h 13 min.

No sistema de Floco-Decantação, ocorre simultaneamente a formação de flocos e sedimentação. Por não serem separados as etapas de floculação e sedimentação, a partícula formada nessa etapa do processo será chamada de floculentas. A dificuldade da operacionalidade dessa unidade de tratamento dar-se devido a falta de previsibilidade da velocidade de sedimentação das partículas coloidais. No processo existe o choque entre as partículas, que terá formação de flocos com tamanhos diferentes, que ocorrerá em velocidades diferente na sedimentação (FERREIRA FILHO, 2022).

A ocorrer a floculação, sedimentação e concentração de lodo na mesma unidade é considerada como Floco-Decantador. É preciso manter um manto, de forma a possibilitar o aumento da taxa de escoamento superficial na zona de sedimentação. Com a entrada de água coagulada ocorre o aumento de encontros entre as partículas, ocorre portanto o aumento na taxa de escoamento superficial, que poderá ser de 50 a 100 m³/m²/d, que dependerá da qualidade da água bruta e dos produtos químicos utilizados (DI BERNARDO, *et al.*, 2017).

O equipamento Floco-Decantador pode ser considerado também como decantador de manta de lodo, pode ser hidráulico ou mecânico, com ou sem recirculação de lodo, com ou sem controle de altura do lodo através de vertedor, e com escoamento contínuo, constante ou pulsante (DI BERNARDO, *et al.*, 2017). A figura 2 mostra o modelo de Floco-Decantador mecanizado.



Figura 2 – Modelo de Floco-decantador mecanizado.

Fonte: http://www.edie.net/products/view_entry.asp?id=1466&title=SETTLEMENT+TANK



33º CONGRESSO DA ABES

Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

FITABES 2025

Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental

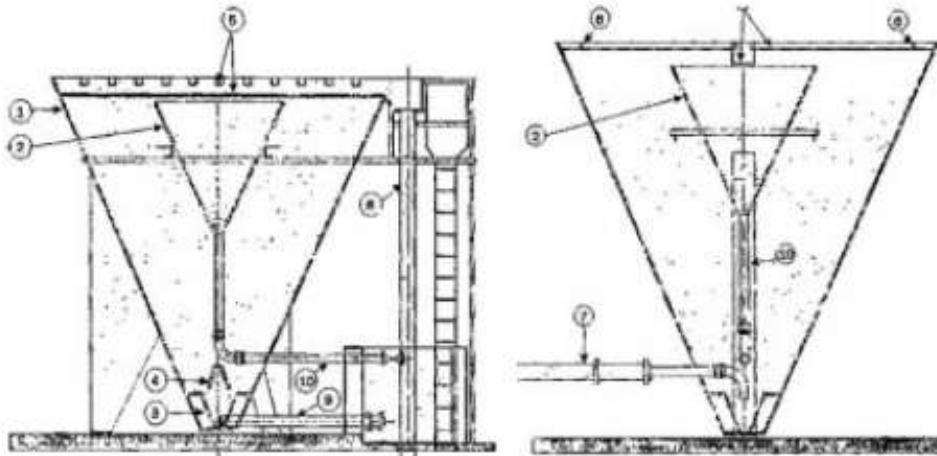


Figura 3 – Modelo de Floco-Decantador com recirculação

Fonte: http://https://www.oocities.org/sg/cortinatreasure/ww_eq_supply.html

Segundo o fornecedor, trata-se de um tipo de Floco-Decantador com recirculação interna e externa de lodo, é um equipamento utilizado para o amolecimento de águas subterrâneas ou superficiais. O espaço necessário utilizado é 50% menor referente a um sistema convencional.

O Floco-Decantador (Figura 4) é um equipamento de fluxo laminar com controle de altura da manta de lodo, que é nivelado pelo cone interno. Esse é o equipamento do estudo de caso de Israelândia. Entretanto, a NBR 12.216 (1993) não indica valores específicos para o cálculo.



Legenda:	1- Cone externo	6-Dispositivo de regulagem das calhas
2-Cone interno 2	7-Entrada de água bruta com diafragma de aplicação de coagulante	
3-Cone interno 3	8-Saída de água decantada do cone externo	
4-Cone interno 4	9-Descarga do cone externo	
5-Calha de água decantada	10-Descarga do cone interno	

Figura 4 – Modelo de Floco-decantador Hidráulico com controle de altura de lodo.

Fonte: INPI (2025).



O cálculo de detenção em cada unidade operacional da Cidade de Israelândia, estimando-se uma vazão de aproximadamente 10 L/s ou 0,01 m³/s, será:

$$\text{Tempo de Detenção do Floco-decantador} = 55/0,01 = 5.500 \text{ Segundos}$$

$$\text{Transformando em Minutos} = 88,7 \text{ min}$$

$$\text{Transformando em Horas} = 1\text{h e }30\text{ min (aproximadamente)}$$

Totalizando o tratamento desde a entrada do Floco-decantador até a zona de decantação aproximadamente 1 h e 30 min.

Ao verificar o tempo de detenção nos dois tratamentos, foi perceptível que existe um escoamento diferente das partículas dentro das unidades operacionais, que para o sistema de Floco-decantador Multicone é menor o tempo de detenção ao compará-lo com uma Estação de Tratamento de Água com unidades separadas de floculação e decantação, Tabela 01.

Tabela 1: Comparação Tempo de Detenção Estação de Tratamento Floculação e Decantador com Floco-Decantador

Unidade	Tempo de Detenção (hora e min)			
	Floculador	Decantador	Floco-Decantador	Tempo Total
Adelândia	19 min	1h 54 min	-	2h e 13 min
Israelândia	-	-	1h e 30 min	1h e 30 min

A NBR 12216 (1992) determina que é necessário realizar ensaios preliminares para prever o tempo de detenção, que devido a previsão de vazão é possível calcular o volume do floculador. Mas, se foram realizados ensaios, a norma indica o tempo de detenção conforme o tipo de floculador, sendo este hidráulico ou mecanizado, que no estudo de caso trata-se de interação pericinética.

Entretanto, a Norma Brasileira (NBR) não destaca nenhuma previsibilidade ao tempo de detenção para sistemas com interação ortocinética, do qual é aplicado o Floco-decantador multicone (estudo de caso 02). Este equipamento apresenta interação particular no sistema laminar.

Pelas análises dos resultados obtidos, estimou-se que o tempo de detenção seria menor com aplicação de forças externas ao fluxo turbulento. Entretanto, ocorreu o inverso que foi a redução de aproximadamente 33% do tempo de detenção ao comparar os dois sistemas. Outro fator a interferir nessa redução de tempo foi a verticalização da sedimentação, semelhante ao movimento do floco que ocorre na decantação de manta de lodo.

Dessa forma, é necessário identificar o tipo de tratamento referente aos tipos de interação dos flocos, antes de realizar as coletas dinâmicas, e colher amostras com proximidade ao tempo de detenção do tratamento. Assim, será possível coletar aproximadamente a mesma água que está passando pelo tratamento.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao realizar as coletas, é necessária uma análise do sistema e conhecimento do tempo de coleta, para torna-se representativa aos parâmetros a serem analisados. Ao quesito do tempo é importante ter percepção temporal de entrada no floculador até a saída do decantador no tratamento.

É fundamental indicar e conhecer qual é o tipo de interação entre as partículas que estão participando no tratamento, determinar se existem outras forças que podem interferir no tratamento, como a força gravitacional no caso do Floco-decantador Multicone. Isso se justifica pela vazão igual e tempo de detenção diferentes.

Ao coletar amostras representativas ao sistema recomenda-se que não realizar uma coleta simultânea ou rápidas nas unidades operacionais do tratamento, principalmente pericinético, devido a que a coleta não será representativa na ao fluxo da água. É necessário realizar com intervalos de tempo calculados. Isso devido a que o tempo de detenção são diferentes nos dois casos em estudo.

Foi verificado que para a realização do tratamento, mesmo que pareça simples de analisar o fluxo da entrada de água, existe uma grande diferença, ao avaliar o tempo de detenção, que na interação ortocinética com tratamento mais célere, tem a verticalização da taxa de escoamento do floco.

Finalmente, existem outros modelos nos quais poderá ser ajustado a necessidade de retirada de componentes químicos presente na água no tratamento por Floco-Decantador. Esse equipamento pode ser explorado para o tratamento de água com diversas características do manancial a ser tratado.

Dante dos resultados obtidos neste estudo, recomenda-se:

- Realizar estudo sobre utilização de Floco-Decantador em áreas pequenas e vazões baixas.
- Avaliar as características dos mananciais e verificar qual seria o melhor modelo de Floco-Decantador;
- Buscar produzir um modelo matemático para Floco-Decantador;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: informação e documentação: referências elaboração. Rio de Janeiro, 1992.

BRASIL. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 para dispor sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União, 2021.

BORGES, M. C. R et al. Plano de Contingência Covid-19 – Conteúdo Teórico Operacional das Estação de Tratamento de Água da Companhia de Saneamento de Goiás – Saneago/GO In. **SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 21., 2024, Recife. Disponível em <https://abes-dn.org.br/anaiseletronicos/21silubesa_download/83_tema_i.pdf> Acesso: 25 out. 2024.

DI BERNARDO, L.; et al. Métodos e técnicas de tratamento de água. São Carlos: **RiMa**, 2017.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. Tratamento de Água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento. Rio de Janeiro: **GEN**, 2022.

MORUZZI, Rodrigo Braga et al. Floculação: considerações a partir da análise clássica e da avaliação direta da distribuição de tamanho de partículas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 04, p. 817-824, 2016.

SILVA, Edimilson de Menezes. Floco-decantador Multicone, nº UM 7502937 -5, 11 de out de 1995.

Disponível em:

<https://busca.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController?Action=detail&CodPedido=253115&SearchParameter=FLOCODECANTADOR%20MULTICONE%20%20%20%20%20&Resumo=&Titulo=>. Acesso 20 de nov de 2024 às 21:56.

VIANNA, Marcos Rocha. Hidráulica aplica às estações de água. Belo Horizonte: **3i Editora**, 2019.