

ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BÁSICOS DE UM SEDIMENTADOR PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

Data de aceite: 05/02/2025

Raimundo Tavares Zane

Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia,
UFAM – AM
<http://lattes.cnpq.br/3566594017382249>

Alex Martins Ramos

Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia,
UFAM – AM
<http://lattes.cnpq.br/3647300336718935>

RESUMO: O tratamento convencional de água para consumo humano depende de um bom sistema de coagulação para produzir água dentro dos padrões de qualidade. Por isso, este trabalho tem como objetivo obter as melhores condições experimentais em termos de pH, turbidez, tempo de agitação e sedimentação, visando projetos de sedimentadores. Para isto, utilizou-se uma solução de sulfato de alumínio a 1,0 % como agente coagulante. Com esta solução, aplicou-se o teste dos jarros para escolher o volume apropriado para o ensaio da proveta. A solução que apresentou o melhor desempenho em termo de turbidez foi de uma rotação rápida de 500 rpm por 2 minutos e lentamente de 220 rpm por 5 minutos. O pH ficou em torno de 4,95 depois da coagulação. Já o tempo que levou para

sedimentar foi de 40 minutos.

PALAVRAS-CHAVE: Coagulação, Teste de jarros, Sulfato de alumínio.

ESTIMATION OF BASIC PARAMETERS OF A SEDIMENTATOR FOR SURFACE WATER TREATMENT

ABSTRACT: Conventional water treatment for human consumption depends on a good coagulation system to produce water within quality standards. Therefore, this work aims to obtain the best experimental conditions in terms of pH, turbidity, agitation time and sedimentation, aiming at sedimentation projects. For this, a 1.0% aluminum sulfate solution was used as a coagulant. With this solution, the jug test was applied to choose the appropriate volume for the beaker test. The solution with the best turbidity performance was a fast rotation of 500 rpm for 2 minutes and slowly of 220 rpm for 5 minutes. The pH was around 4.95 after coagulation. The time it took to settle was 40 minutes.

KEYWORDS: Coagulation, Jug test, Aluminum sulfate.

1 | INTRODUÇÃO

A coagulação consiste na desestabilização de partículas em suspensão presentes na água (que possuem sua superfície carregada com cargas elétricas negativas), pela adição, na maioria dos casos, de sais de ferro ou alumínio, os quais em contato com a água formam espécies hidrolisadas que, por sua vez, adsorvem nas partículas coloidais presentes na água e as desestabilizam. A etapa de coagulação depende basicamente das características da água como pH, alcalinidade, turbidez, temperatura, mobilidade eletroforética, força iônica, concentração de sólidos totais dissolvidos, tamanho e distribuição de tamanhos das partículas em estado coloidal e em suspensão, entre outros (MEDEIROS et al., 2011; CARDOSO et al., 2008). Assim, a coagulação é fundamental para processo de aglutinação das partículas presentes na água formando flocos que possam ser separados na fase de sedimentação e filtração (LEME, 2010). Para a coagulação pode ser adicionado produtos químicos, os mais usados são o sulfato de alumínio, sulfato férrico, sulfato ferroso, cloreto férrico, aluminato de sódio e os polieletrólitos (SANTOS, 2011).

A coagulação, portanto, é uma operação unitária fundamental tanto para projetos de estação de tratamento quanto para projeto de sedimentadores. Por isso, o objetivo deste estudo foi de obter as melhores condições experimentais em termo de pH, turbidez, tempo de agitação lenta e rápida e tempo de sedimentação.

2 | METODOLOGIA

2.1 Sólidos totais em suspensão

A coleta foram realizada no município de Itacoatiara, o mesmo localiza-se à 270 km da capital Manaus, possui uma população estimada em 98.503 habitantes (IBGE, 2016).

As amostras de água foram apanhadas à margem esquerda do rio Amazonas pertencente ao município. Sendo que essas foram filtradas em um sistema de filtração à vácuo com filtro de membrana de 0,45 μm previamente pesados, que após a filtragem foram secos em estufa entre 105 e 110 °C, seguido de pesagem até massa constante.

2.2 Determinação do pH

Para as leituras de pH das amostras de água foi utilizado o medidor multiparâmetro de modelo AK88, da marca Akso. Cada leitura, o eletrodo do aparelho foi lavado abundantemente com água destilada a fim de se evitar interferências nas leituras posteriores.

2.3 Determinação da turbidez

A turbidez das amostras foi obtida com turbidímetro portátil TU430, da marca Akso a temperatura ambiente. Essa variável foi medida antes e depois do processo de coagulação para acompanhamento do desempenho do coagulante.

2.4 Teste de jarros

Foi utilizada uma solução 1,0%(m/v) de sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ que foi preparada a partir do reagente comercial, com pureza de 99%, da marca BIOTEC. Em uma mistura de água destilada em um balão volumétrico de 2000 mL. Neste procedimento, cujo objetivo foi determinar a melhor dosagem de sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ para o controle da cor e turbidez da água. O procedimento se inicia adicionando 100 mL de água bruta em cada um dos seis beakers, depois desse processo, acrescentou-se a solução de sulfato de alumínio em diferentes quantidades. No primeiro becker foi adicionado 0,5 mL de sulfato de alumínio, no segundo 1,0 mL, no terceiro 1,5 mL, no quarto 2,0 mL, no quinto 3 mL e no sexto 5 mL. O sétimo becker não se adicionou a solução, pois foi utilizado para comparação. Agitou-se vigorosamente as amostras por 30 segundos e, em seguida, agitou-se vagarosamente durante 2 minutos. Após todos esses processos citados anteriormente deixou-se as soluções em repouso para decantar por aproximadamente 30 minutos. De acordo com a figura 1:

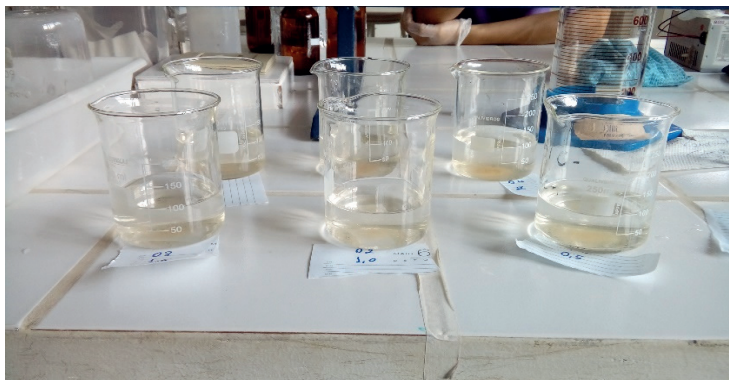


Figura 1: Procedimento do testes dos jarros

Fonte: A autor (2018).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da água bruta

Os resultados da análise da água bruta estão descritos na Tabela 1, para algumas variáveis físico-químicas.

| Variável | Valor | Unidade |
|-----------------------------|-------|---------|
| pH | 6,5 | ----- |
| Sólidos totais em suspensão | 1,084 | g/L |
| Turbidez | 100,5 | NTU* |

Tabela 1- Variáveis físico-químicas da água bruta

Fonte: A autor (2018).

As variáveis da Tabela 1 são fundamentais em projeto de sedimentadores, pois, todas influenciam consideravelmente a coagulação promovida pelo sulfato de alumínio (DI BERNARDO et al., 2012). Além disso, nota-se que a concentração de sólidos totais em suspensão é cerca de 35 a 100 vezes menor que os valores encontrados por Cristina et al., (2002) e Brasil (2002). Isto leva a suposição de que a água analisada é uma solução diluída. Isso implica que em um gráfico entre a altura de sedimentação *versus* tempo, é de se esperar que aparece uma relação linear, ou seja, uma curva reta.

3.2 Análise do teste dos jarros

A partir da solução de sulfato de alumínio a 1,0% (m/v), adicionou-se alíquotas de volumes dessa solução em seis diferentes béqueres contendo água bruta, com o intuito de encontrar a quantidade ideal de coagulante. O resultado desse teste é apresentado na Tabela 2, juntamente com a concentração do coagulante em cada béquer, bem como a turbidez de cada solução.

| Becker | $V(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) - \text{mL}$ | $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] \text{ g/L}$ | Turbidez(NTU) |
|--------|---|--|---------------|
| 1 | 0,5 | 0,050 | 15,0 |
| 2 | 1,0 | 0,100 | 11,2 |
| 3 | 1,5 | 0,150 | 6,6 |
| 4 | 2,0 | 0,200 | 14,5 |
| 5 | 3,0 | 0,300 | 18,0 |
| 6 | 5,0 | 0,500 | 20,0 |

Tabela 2 – Adição de sulfato de sulfato de alumínio.

Fonte: A autor (2018).

Como se pode perceber da Tabela 2, a solução que apresentou a menor turbidez foi a do béquer 3, sendo portanto, a alíquota de 1,5 mL usada para se ampliar o cálculo da quantidade de coagulante para um volume de água bruta de 1000 mL.

3.3 Dimensionamento do sedimentador

Para se calcular as dimensões do sedimentador, ou seja, seu diâmetro, altura e área é necessário obter os dados da altura de sedimentação em função do tempo. Por isso, foi necessário o teste dos jarros que forneceu a quantidade apropriada de coagulante a ser usada no ensaio da proveta, contendo um volume de 1000 mL. Os resultados deste ensaio estão descritos na Tabela 3.

| Altura(cm) | T (min) |
|------------|---------|
| 12,0 | 0 |
| 11,0 | 2 |
| 10,5 | 4 |
| 10,0 | 6 |
| 9,0 | 8 |
| 8,7 | 10 |
| 8,0 | 12 |
| 7,3 | 14 |
| 6,6 | 16 |
| 5,2 | 18 |
| 4,7 | 20 |
| 4,0 | 22 |
| 3,3 | 24 |
| 3,0 | 26 |
| 2,6 | 28 |
| 2,0 | 30 |
| 1,5 | 32 |
| 1,0 | 34 |
| 1,0 | 36 |
| 1,0 | 38 |
| 1,0 | 40 |

Tabela 3: Valores do ensaio da proveta

Fonte: A autor (2018).

Para calcular o diâmetro do sedimentador e sua altura, utilizou-se o método de Kinch, conforme apresentado em Cremasco (2012). Deste modelo, serão apresentadas neste artigo apenas as equações do diâmetro e da altura como será mostrado a seguir.

A partir da Tabela 3, traçou-se um gráfico entre a altura de sedimentação (z), no eixo y (ordenadas) *versus* o tempo de sedimentação (t) no eixo x (abscissas), como mostra a Figura 2. De posse desse gráfico, traçou-se retas tangentes aos pontos até a intersecção com o eixo das ordenadas, ou seja, até que a reta tangente cruzasse o eixo y. O valor obtido nessa intersecção, corresponde aos valores de z_p , na Figura 2.

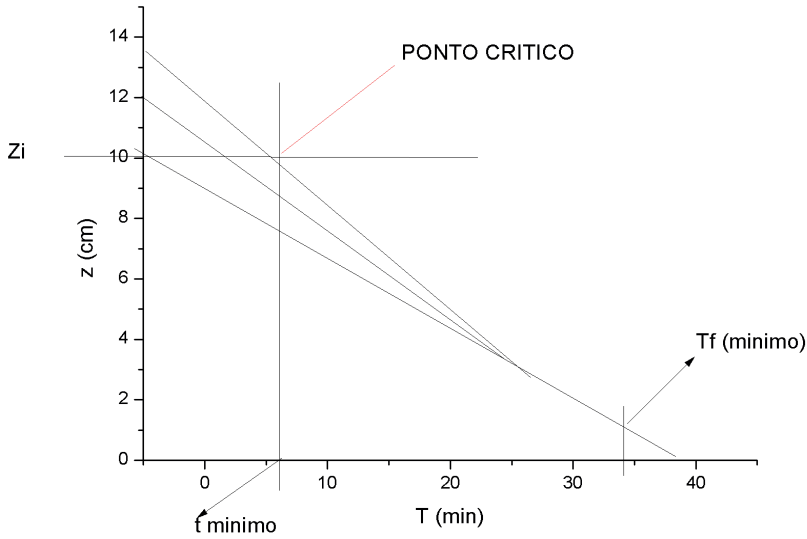


Figura 2: Comportamento da Curva de Sedimentação

Fonte: A autor (2018).

Posteriormente, escolheu-se o tempo crítico (t_c), que é dado pelo último ponto da parte reta da curva da Figura 2, sendo seu valor de 10,2. Em seguida, calculou-se a altura mínima (Z_{min}) pela Equação (4):

$$Z_{min} = Z_0 \frac{\varepsilon_{p0}}{\varepsilon_{pL}} \quad (4)$$

Onde Z_{min} é a mínima variação que altura de sedimentação, Z_0 a altura antes da sedimentação, ε_{p0} é a concentração de partícula na alimentação, ε_{pL} é a concentração de partícula no espessado. De posse do valor de Z_{min} , traçou-se uma linha reta até cruzar a curva dos pontos a partir do eixo das ordenadas. Do ponto de cruzamento entre a curva e Z_{min} , traçou-se outra linha reta em direção ao eixo das abcissas. Nessa intersecção, encontrou-se o tempo mínimo(t_{min}) e seu valor é 6,3. Do ponto Z_{min} traçou-se também outra linha reta, tangenciando a última parte da curva, na qual encontrou-se o tempo final(t_f), cujo valor foi 34.

De posse desses valores e para uma dada vazão, por exemplo, $1 \text{ m}^3/\text{h}$, obteve-se o diâmetro do sedimentador, que foi de 6,0 m, calculado pela Equação 5:

$$D = \left[\frac{4 Q_A \varepsilon_{pA}}{\pi q_i} \left(\frac{1}{\varepsilon_{pi}} - \frac{1}{\varepsilon_{pL}} \right) \right]^{1/2} \quad (5)$$

Onde Q é a vazão volumétrica da suspensão, q_i é a velocidade da sedimentação, e o subscrito A e L referem-se à alimentação no sistema, já o ε_p e ε_{pi} são a camada limitante e a lama espessado.

Um sedimentador convencional é dividido em três altura distintas de acordo com a Figura 3.

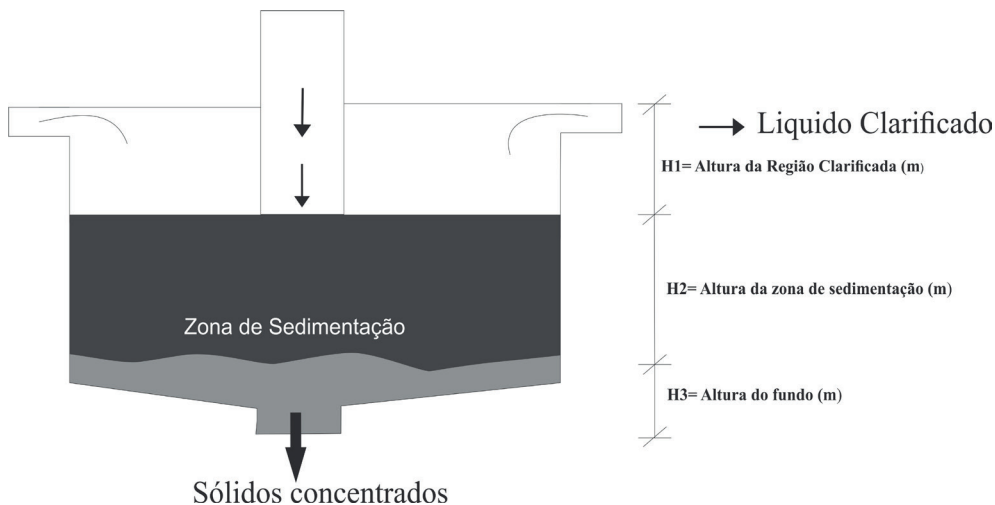


Figura 3: Diagrama esquemático de um Sedimentador

Fonte: A autor (2018).

Onde (H_1) é a altura de clarificação, onde inexistente a presença de partículas sólidas depois de determinado tempo e seu valor é pré-estabelecido em 0,75 m.

A altura da zona de decantação (H_2) é dada pela seguinte Equação 6:

$$H_2 = \frac{4}{3} z_{\min} \left(\frac{t_R}{t_{\min}} \right) \quad (6)$$

Onde t_R é a tempo de residência, que é a diferença entre tempo final e o tempo mínimo (t_{\min}).

E por fim, altura do fundo (H_3) que é dada pela Equação 7:

$$H_3 = 0,073 \times D \quad (7)$$

Em que D é o diâmetro do sedimentador. A altura total do sedimentador é resultado da soma de H_1 , H_2 e H_3 cujo valor é 1,4 m.

Com os valores do diâmetro e da altura do sedimentador, assim possibilitando explicitar a sua área através da equação 8:

$$A = \frac{F \cdot Ca \left(\frac{1}{Ci} - \frac{1}{Cl} \right)}{vi} \quad (8)$$

Onde F é vazão de entrada, Ca é a concentração inicial, Ci é a concentração pontual, Vi é a velocidade pontual da sedimentação e Cl é a concentração ideal de lodo.

Vale a pena ressaltar que o gráfico da Figura 2 apresenta uma observação interessante: a curva mostrada se aproxima visualmente de uma reta. Isto é característico de sistemas diluídos, correspondendo portando a discussão no tópico 3.1. Esse resultado é muito importante, pois, tanto o cálculo do tempo de sedimentação bem como da quantidade de coagulante empregada são proporcionais, o que facilita enormemente a ampliação das escala.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O teste dos jarros mostrou que a quantidade a ser adicionada à água bruta é de 1,5 mL a partir da solução-mãe. O gráfico traçado entre a altura de clarificação e tempo mostrou a princípio que é necessário aumentar o tempo de agitação para que partículas maiores e mais uniformes sejam formadas. Desta forma a concentração dos sólidos na suspensão, a concentração dos sólidos na lama e a densidade do líquido apresentaram valores próximos ao da literatura. Visto que o dimensionamento de sedimentador convencional consta do cálculo da sua altura e área transversal e é baseado em dados operacionais de sedimentação em batelada podendo calcular as dimensões do sedimentador.

REFERÊNCIAS

BRASIL, A. **DETERMINAÇÃO DA TURBIDEZ E DO pH DA ÁGUA DE UMA PISCICULTURA EM TANQUES-REDE NO RIO SÃO JOSÉ DOS DOURADOS, ILHA SOLTEIRA** - SP. v. 357, p. 2–5, 2002.

CARDOSO, K. C. et al. **Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da moringa oleifera lam.** Acta Scientiarum - Technology, v. 30, n. 2, p. 193–198, 2008.

CREMASCO, M. A. **Operações unitárias em sistemas particulados e fluidomecânicos.** São Paulo: Blucher, 2012.

CRISTINA, S.; FRANÇA, A. **Edição do Livro de Tratamento de Tratamento de Minérios** Cap.14, p.571-609. p. 571–609, 2002.

DI BERNARDO L. et al. **Ensaio de tratabilidade da água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.** São Paulo: Ed. Rima, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico,** 2016.

LEME, F. C. **Teorias e técnicas de tratamento de águas**. Rio de Janeiro: Ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2ª edição (Atualizada), 2010.

MEDEIROS, C. O. et al. **Estudo da sedimentação para o tratamento de água de processo de indústria beneficiadora de arroz**. p. 1–6, 2011.

SANTOS, Gabriel Rosa. **Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2011.