

Ajuste de perfis de curvas sedimentação e crescimento de bactérias

Adjustment of sedimentation and bacteria growth curve profiles

RESUMO

A sedimentação é um processo em que há a separação de partículas em distintas camadas, onde as partículas mais densas tendem a se acumular nas camadas inferiores. A sedimentação é um fenômeno muito difundido e utilizado na indústria. Esse trabalho tem como objetivo a aplicação de modelos e obtenção de parâmetros experimentais para o ajuste de perfis de curvas da sedimentação de partículas utilizando processamento digital de imagens. As imagens analisadas foram obtidas com um dispositivo apropriado, o qual era composto por um Raspberry Pi 3B, uma câmera digital Pi Camera, um *case* e o *software* responsável pela captura. As imagens registravam a sedimentação em um ensaio com altura h , elas foram analisadas e uma curva que correlaciona-se a sedimentação em função do tempo fosse levantada. Como resultado, observou-se uma correlação exponencial entre a sedimentação, com altura h , em função do tempo.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentação. Processamento de Imagens. Ajuste de perfis.

ABSTRACT

Sedimentation is a process in which particles are separated into different layers, where the denser particles tend to accumulate in the lower layers. Sedimentation is a widespread phenomenon and used in industry. This work aims to apply models and obtain experimental parameters for the adjustment of particle sedimentation curve profiles using digital image processing. The analyzed images were obtained with an appropriate device, which was composed of a Raspberry Pi 3B, a digital camera Pi Camera, a case and the software responsible for the capture. The images recorded the sedimentation in a test with height h , they were analyzed and a curve that correlates the sedimentation as a function of time was raised. As a result, an exponential correlation was observed between sedimentation, with height h , as a function of time.

KEYWORDS: Sedimentation. Image Processing. Profile adjustment.

Lucas Eduardo Engel
lucasengel@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Ricardo Schneider
rschneider@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Marlon Vinicius Boufleuher Foltz
marlonfoltz@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Alberto Yoshihiro Nakano
nakano@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

Para vários processos que envolvam a indústria química e a engenharia hidráulica, faz-se necessária a obtenção do comportamento de sedimentação de determinadas partículas, essas informações importantes podem ser levantadas por meio de ensaios, os quais buscam analisar a separação de misturas heterogêneas em função do tempo. Ao realizar uma análise criteriosa em uma amostra qualquer, percebe-se que as partículas mais densas vão, por ação da gravidade, se acumulado (sedimentando) no fundo do ensaio, isso ocorre devido às particularidades granulométricas e físicas de cada material.

Ademais, analisando o mesmo ensaio, percebe-se que no transcorrer do processo de sedimentação encontramos fases diferentes, as chamadas zonas de sedimentação, que foram classificadas em distintas camadas pela teoria de Kynch (1952). Essas camadas auxiliam na obtenção de parâmetros gráficos do processo de sedimentação.

Uma das técnicas para a visualização e acompanhamento do comportamento mencionado é por Processamento Digital de Imagens (PDI) onde, em função do tempo, pode-se monitorar e mensurar cada ensaio utilizando conceitos de sedimentação, colorimetria e luz. O estudo da sedimentação pode ser então realizado com técnicas assertivas e de baixo custo, sendo assim o objetivo desse trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

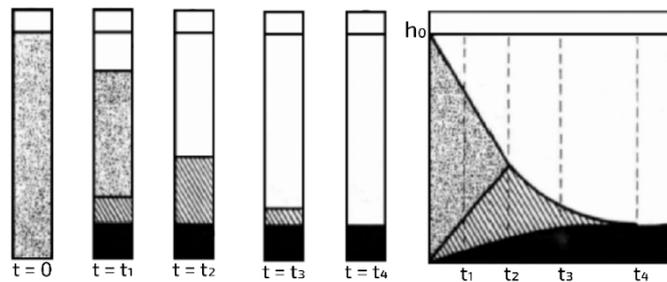
Em um ensaio em que há uma distribuição homogênea das partículas temos, ao longo do tempo, um processo de sedimentação, naturalmente essas partículas se deslocam, por ação da gravidade, de um ponto inicial até chegarem ao fundo do recipiente no ensaio realizado. Kynch G.J. (1952) observando esse comportamento propôs um modelo matemático simplificado para descrevê-lo.

KYNCH (1952), citado por NUNES (2008), baseado na equação da continuidade para os sólidos, levantou a hipótese da formação de sedimentos incompressíveis, e a sua utilização para projetos de sedimentação, que devem operar com suspensões que produzem sedimentos com pequenos graus de compressibilidade gerando resultados aceitáveis.

Esses pequenos graus de compressibilidade (Figura 01), representam a concentração de partículas no sentido do fundo do recipiente e, também, podem ser observadas pelo espalhamento dos feixes de luz, oriundos da lâmpada utilizada no dispositivo que capturou as imagens. O conceito abordado por Kynch e o espalhamento citado apresentam uma forma de calcular a concentração (ϵ_s) da interface superior em função do tempo, permitindo o cálculo da velocidade em que ocorre a sedimentação, graficamente temos a curva da Figura 02.

Figura 01: Camadas de sedimentação segundo a teoria de Kynch

-  Região de líquido clarificado ($\epsilon_s \approx 0$)
-  Região de sedimentação livre ($\epsilon_s = \epsilon_{s0}$)
-  Região intermediária ($\epsilon_{s0} < \epsilon_s < \epsilon_{sm}$)
-  Região de sedimentação ($\epsilon_s = \epsilon_{sm}$)



Autor: DAMASCENO (1992)

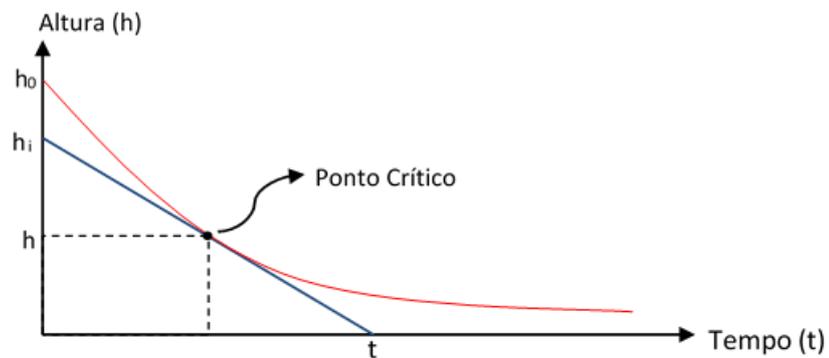
Para o cálculo da concentração total das partículas (ϵ_s) na interface superior e da velocidade de sedimentação (V_s), LIRA (2010) utilizou-se, respectivamente, das seguintes equações:

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_{s0} \cdot h_0}{h_i} \quad (1)$$

$$V_s = \frac{h_i - h}{t} \quad (2)$$

sendo h_i a intersecção da tangente à curva de sedimentação, no tempo em questão no instante ($t=0$).

Figura 02: Interpretação gráfica



Autor: Autoria Própria (2020)

Para correlacionar os dados obtidos, tempo e altura, com as propriedades fluidodinâmicas das partículas, assim como em outros estudos sobre a sedimentação, a lei de Stokes:

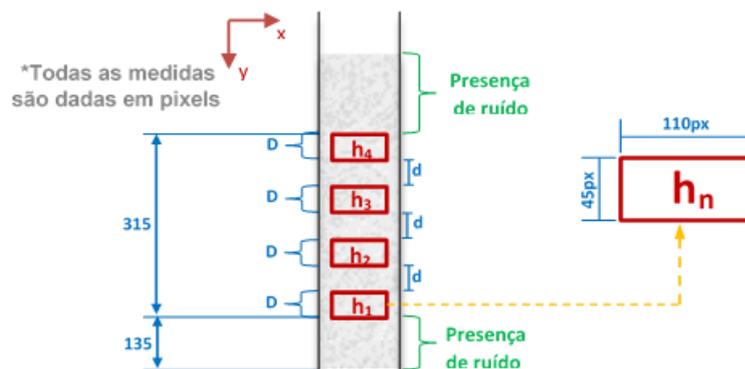
$$V_s = \frac{\Delta h}{t} = \frac{1}{18\eta} \phi^2 g (\rho_p - \rho_l) \quad (3)$$

A Equação 3 pode ser, alternativamente, utilizada para encontrar o diâmetro ou a densidade das partículas. Para Stokes, apenas três fatores influenciam a velocidade final de sedimentação: diâmetro da partícula, viscosidade do fluido e diferença de densidade entre a partícula e o fluido, sendo que η é a viscosidade do fluido, ϕ o diâmetro da partícula, g a gravidade e ρ_p , a densidade da partícula e do líquido, respectivamente.

No experimento realizado, as cubetas com as amostras são agitadas uniformemente, originando uma distribuição homogênea na água, a qual serviu de base para os nossos estudos (STAUDINGER, HANGL, PECHTL, 1986), na sequência, elas são inseridas no dispositivo de aquisição de imagens e então, é iniciado o processo de aquisição das imagens em um tempo (t) pré-determinado para que, futuramente, pudessem ser analisadas por processamento digital de imagens.

Os dados das imagens obtidas foram compilados, via *software*, de forma a encontrar o ajuste das curvas de sedimentação em função do tempo. Com o intuito de analisar a sedimentação ao longo da amostra teste, regiões distintas para processamento de imagens foram delimitadas conforme Figura 03. Cada região contém 110 pixels de largura (eixo x) por 45 pixels de altura (eixo y), os 45 pixels de altura (D) estavam compreendidos em uma faixa de 315 pixels. A distância entre as regiões, ou seja, entre h_1 e h_2 , h_3 e h_4 e assim sucessivamente, é de 45 pixels (d). O ruído destacado na Figura 03 é referente às regiões de sombras interna e ao sistema de fixação do dispositivo empregado na aquisição de imagens.

Figura 03: Regiões selecionadas na amostra



Autor: Autoria Própria (2020)

O fenômeno analisado em cada região foi o índice de espalhamento dos feixes de luz, o qual está relacionado à concentração e distribuição das partículas na amostra. Maior concentração, maior espalhamento. Logo, a curva levantada analisava a concentração de partículas em cada região de interesse ao longo do tempo. Uma média foi realizada entre todas as imagens coletadas, sobre cada região de interesse, afim de reduzir o ruído proveniente do próprio dispositivo de

captura utilizado (luz, fundo, orientação da câmera) e, também, do tubo de ensaio (GONZALEZ, WOODS, 2010, p.211-213).

Nos ensaios foram consideradas 03 (três) amostras com granulometrias diferentes ([200,250], [250,325] e [<325,], na escala Mesh). Para melhor compreensão da escala Mesh, quanto menor o número maior o diâmetro da partícula e vice-versa. E para a análise dos dados fez-se necessário o uso da equação de normalização

$$X_{normalizado} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4)$$

A Equação 4 apresenta o método scaling recurso, o qual normaliza todos os dados das amostras no intervalo [0,1], sendo que X é o valor atual de nossa amostra e Xmin e Xmax são, respectivamente, o menor e o maior valor de todo o conjunto de dados.

O resultado obtido após a normalização são apresentados nas Figuras 04, 05 e 06 considerando-se as granulometrias ([200,250], [250,325], [<325], respectivamente). Cada figura apresenta as regiões h1, h2, h3 e h4 apresentadas na Figura 03. As figuras apresentam o comportamento de sedimentação em relação ao tempo e a partir deles é possível caracterizar perfis de curvas de sedimentação para, posteriormente, construir bibliotecas que contemplem esses perfis. Para o equacionamento da curva, utilizou-se o método dos mínimos quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pelo método dos mínimos quadrados (MMQ) estimou-se modelos exponenciais conforme,

$$f(t) = a.exp(b.t) \quad (5)$$

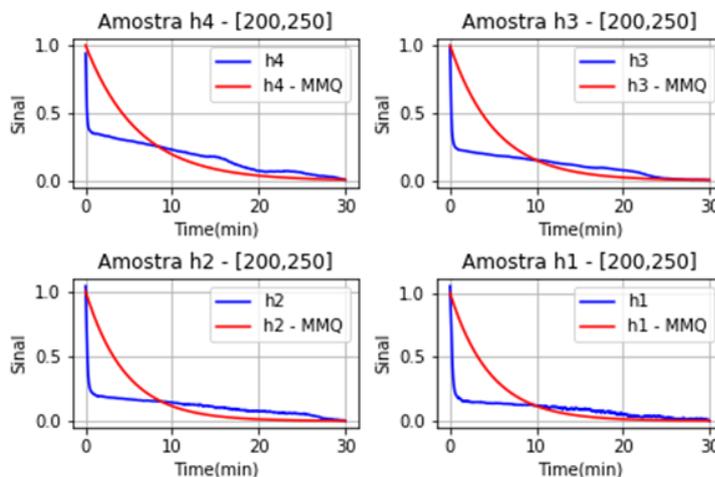
O modelo exponencial também está presente nas Figuras 04, 05 e 06.

Os três gráficos gerados (Figuras 04, 05 e 06) apresentam o comportamento da sedimentação em relação ao tempo. Na Figura 04 a sedimentação teve um t = 30 minutos e nas Figuras 05 e 06 sedimentação teve um t = 350 minutos.

O tempo de sedimentação encontrado nos gráficos pode ter alguma divergência do tempo de sedimentação esperado, segundo método de Stokes, algumas limitações podem surgir e uma delas está relacionada à correlação de Richardson e Zaki para “efeito de população” citado por SILVA, CARVALHO, DIAS e VELOSO (2018), a qual não foi considerada nesse estudo. Segundo os autores, devido a concentração de partículas no ensaio o processo de sedimentação será mais lento, logo, o tempo necessário será maior.

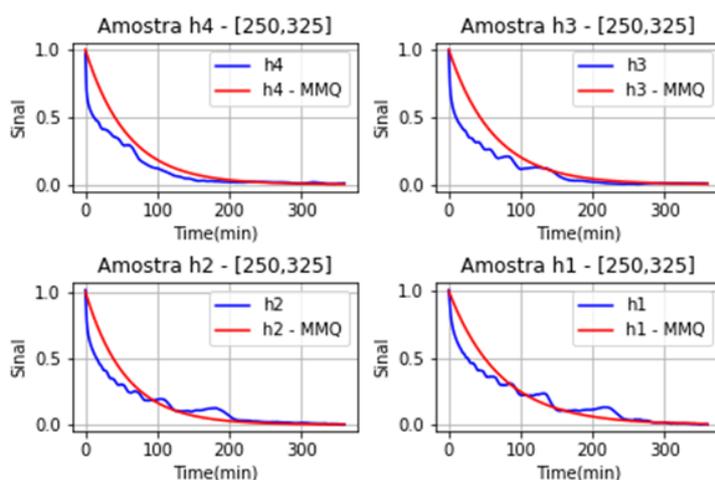
Nos três gráficos percebemos uma queda abrupta, da mesma forma que o modelo de Kynch apresenta.

Figura 04: Sedimentação, normalizada. Cada região do ensaio uma curva – [200,250]



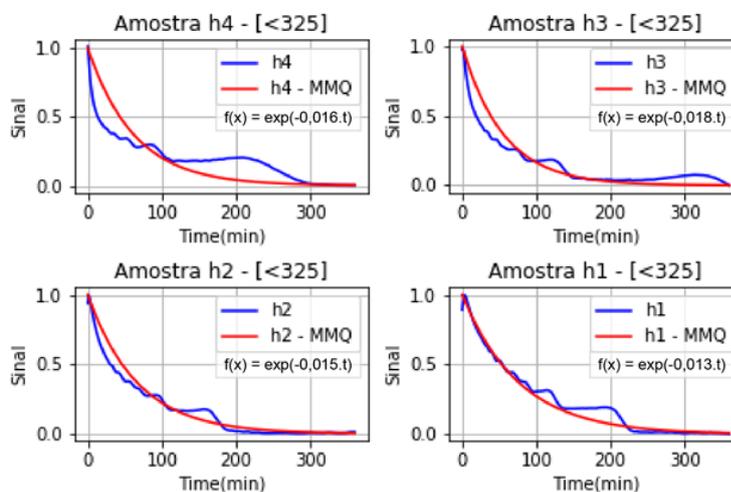
Autor: Autoria Própria (2020)

Figura 05: Sedimentação, normalizada. Cada região do ensaio uma curva – [250,325]



Autor: Autoria Própria (2020)

Figura 06: Sedimentação, normalizada. Cada região do ensaio uma curva – [<325]



Autor: Autoria Própria (2020)

Comparando as três figuras acima, constatou-se que o modelo exponencial se mostrou mais adequado para ensaios com partículas de diâmetros menores [<325], em que o tempo de sedimentação foi maior. Também constatou-se que a região h1 das amostras fornecem curvas mais limpas e mais próximas do modelo exponencial.

O estudo ainda previa a construção de bibliotecas que contivessem os dados coletados ao longo da pesquisa, para que servissem de parâmetro para eventos futuros. Ademais, além da sedimentação de partículas em função do tempo, o estudo de cinéticas de crescimento de bactérias também era previsto, entretanto, por conta da pandemia instaurada no país, o estudo não tomou forma.

CONCLUSÕES

O objetivo inicial desse estudo foi determinar modelos teóricos, por meio do processamento digital de imagens, das curvas de sedimentação. E a partir desses modelos teóricos elaborar uma biblioteca contendo os parâmetros teóricos e experimentais da sedimentação de partículas em fluídos. Entretanto, como não foi encontrado um modelo matemático que descrevesse todos os comportamentos de sedimentação, não se tornou adequado a elaboração da biblioteca. Ademais, os fatores externos instaurados no país no ano de 2020 prejudicaram a correção desses fatores e o bom andamento do estudo.

Outrossim, os dados coletados mostraram que as técnicas empregadas resultavam em curvas com um perfil esperado, mas não satisfatório.

Dentre os próximos passos podemos destacar a elaboração de uma IHM, Interface Homem Máquina e a construção de um dispositivo que suporte a grade de amostras para que as imagens possam ser capturadas pelo Raspberry Pi 3B. Ademais, a elaboração de bibliotecas que sirvam de parâmetro para eventos futuros se faz necessário.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq – Brasil.

REFERÊNCIAS

DAMASCENO, J.J.R. **Uma contribuição ao estudo de espessamento contínuo**, Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil. 1992.

GONZALES, R.C.; x, R.E. **Processamento Digital de Imagens**, 3ª Edição, Pearson Education, ISBN: 978-85-7605-401-6, p.211-213.

LIRA, J. R. **Estudo dos Parâmetros que Influenciam a Floculação na Sedimentação Contínua**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, Brasil. 2010. Disponível

em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15168/1/d.pdf>. Acesso em: 18 de jul. de 2020.

NUNES, J. F. **Estudo da sedimentação gravitacional de suspensões flocculentas**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, Brasil. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/15108/1/Janaina.pdf>. Acesso em: 17 de jul. de 2020.

SILVA, V.Q.; CARVALHO, R.S.; DIAS, L.L.; VELOSO, S.F. **Dimensionamento de Sedimentadores Contínuos com Base na Modelagem matemática da Sedimentação em Proveta**, Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.3, n.2, mai. 2018.

STAUDINGER, G.; HANGL, M.; PECHTL, P. **Particle and Particle Systems Characterization: Quick Optical Measurement of Particle Distribution in a Sedimentation Apparatus**. v. 3, ed. 4, p. 158-162, 1986. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ppsc.19860030404>. Acesso em: 17 de jul. de 2020.