

## Dispositivo e metodologia para monitoramento da qualidade de águas: crescimento de bactérias (colorimétrico) e turbidez

## Device and methodology for monitoring water quality: bacterial growth (colorimetry) and turbidity

### RESUMO

As aplicações na determinação do tamanho de partículas são amplas, desde indústria farmacêutica, alimentícia, mineral, até a química. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um dispositivo para a aquisição e processamento de imagens, onde seja possível monitorar a sedimentação de partículas em um fluido em função do tempo. O dispositivo desenvolvido, compreende de um compartimento a prova de luz, onde são inseridas as cubetas com amostras. Dentro do dispositivo é usado uma lâmpada de LED e uma câmera como fonte de radiação e elemento sensor, respectivamente. A aquisição das imagens digitais foi realizada por meio de uma placa Raspberry Pi 3 e uma câmera digital, com software de captura elaborado em Python. As imagens foram processadas e analisadas para estudo da correlação entre o tamanho das partículas em relação ao tempo necessário para sedimentação. Como resultado, observou-se uma correlação linear entre o tamanho das partículas e o tempo de sedimentação necessário.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sedimentação. Processamento de Imagens. Turbidez.

### ABSTRACT

The applications in determining particle size are wide ranging, from the pharmaceutical, food, mineral, to chemical industries. This work aims to develop a device for the acquisition and processing of images, where it is possible to monitor the sedimentation of particles in a fluid as a function of time. The developed device comprises a light-proof compartment, where the sample cuvettes are inserted. Inside the device an LED lamp and a camera are used as a radiation source and sensor element, respectively. The acquisition of digital images was performed using a Raspberry Pi 3 card and a digital camera, with capture software made in Python. The images were processed and analyzed to study the correlation between particles size in relation to the time required for sedimentation. As a result, a linear correlation was observed between the particle size and the required sedimentation time.

**KEYWORDS:** Sedimentation. Image processing. Turbidity.

**Marlon Vinicius Boufleuher Foltz**  
[marlonfoltz@alunos.utfpr.edu.br](mailto:marlonfoltz@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Ricardo Schneider**  
[rschneider@utfpr.edu.br](mailto:rschneider@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Lucas Eduardo Engel**  
[lucasengel@alunos.utfpr.edu.br](mailto:lucasengel@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Alberto Nakano**  
[nakano@utfpr.edu.br](mailto: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

A determinação do tamanho de partículas é um parâmetro importante para processos e produtos presentes na sociedade.

A eficiência das estações de tratamento de água unidades de tratamento físico-químico está normalmente ligada às características do material particulado que se pretende remover (tamanho, forma, densidade, carga superficial, velocidade de sedimentação e porosidade) e ao processo de separação empregado e/ou produtos químicos empregados (LAWLER, 1997, pg.15-23).

A sedimentação de partícula em um meio é uma variável que depende do tamanho, forma e meio, com suas variáveis, onde a partícula está dispersa. Neste sentido a medida da intensidade de radiação espalhada em função do tempo permite a obtenção de uma relação da intensidade de radiação espalhada com a distribuição de tamanho das partículas do sistema.

Como alternativa este trabalho tem como objetivo empregar técnicas de processamento digital de imagens na determinação de alguns parâmetros das partículas em suspensão, como correlacionar o tempo de sedimentação com o tamanho.

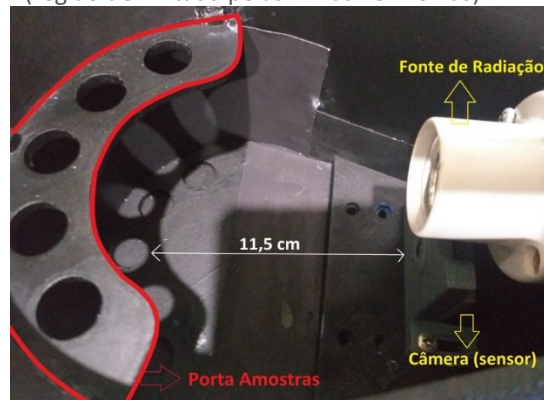
Neste caso, uma câmera digital é utilizada como matriz de sensores e cada pixel pode atuar como um sensor individual.

O processo de análise de imagens é geral, este pode ser empregado para avaliar variações na intensidade, bem como identificar cores (ou mudanças destas) em função da radiação que interage com o elemento sensor da câmera. Assim, o dispositivo proposto foi utilizado para leitura de placas de crescimento de bactérias que podem ter seu crescimento ou inibição monitorados por testes colorimétricos amplamente difundidos. A principal vantagem do processo proposto é a leitura não depender do operador/leitor e ser capaz de detectar pequenas mudanças na totalidade.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o dispositivo para obtenção das imagens. O dispositivo é controlado por uma placa Raspberry Pi 3. A câmera está posicionada 11,5 cm do porta amostra com capacidade de 5 frascos cilíndricos. A radiação eletromagnética é provida por uma lâmpada de LED de 9W (watts) ligada diretamente a rede elétrica. As imagens são obtidas por uma Câmera NoIR de 8 megapixels para Raspberry Pi 3 como elemento sensor (Sony IMX219). As amostras para análise foram preparadas com soluções sólidas de vidro, 1% massa/volume em água, para as granulometria de [200,250], [250,325] e [<325,] as análises foram capturadas de 10 (dez) em 10 (dez) segundos durante 6 (seis) horas.

Figura 1 – Parte interna do dispositivo. Na figura é possível observar, a câmera abaixo da fonte de radiação, que está posicionada 11,5 cm de forma normal ao porta amostras (região delimitada pelas linhas vermelhas).



Fonte: Autoria própria.

Por meio do *software* com programação em linguagem Python, foram selecionadas as regiões de interesse (*region of interest* - ROI) contendo a maior quantidade de informação possível. Convertendo as imagens de RGB (*red, green, blue*) para escala de cinza, calculando uma média aritmética dos pixels da região e eliminando o fundo preto.

Com as imagens na escala de cinza é possível perceber maior contraste entre o espalhamento da luz devido à amostra turva que se encontra em tons mais esbranquiçados e o fundo que é preto.

Os dados obtidos foram normalizados no intervalo [0 1], utilizando a equação:

$$X_{normalizado} = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})} \quad (1)$$

Onde:

X = valor atual;

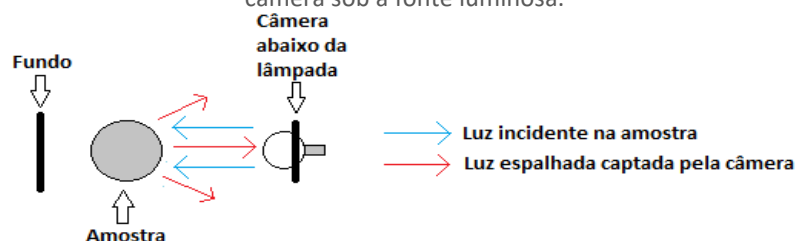
Xmin = menor valor de todo o conjunto de dados;

Xmax = maior valor de todo o conjunto de dados;

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens para detecção do dispositivo proposto é baseada na obtenção de imagens ópticas de radiação eletromagnética (luz), que incide sobre a amostra, obtida por uma câmera (Figura 2). A intensidade da radiação espalhada é capturada pela câmera.

Figura 2 - Representação do funcionamento do dispositivo de análise de turbidez. Com a câmera sob a fonte luminosa.

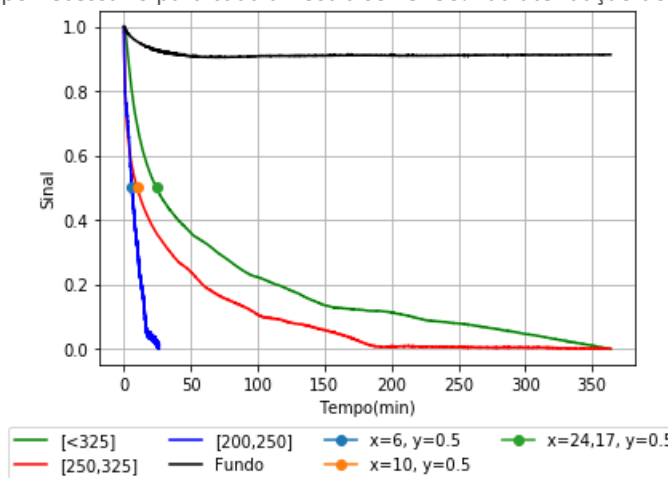


Fonte: Autoria própria.

Na geometria proposta à radiação eletromagnética é normal ao elemento sensor (câmera).

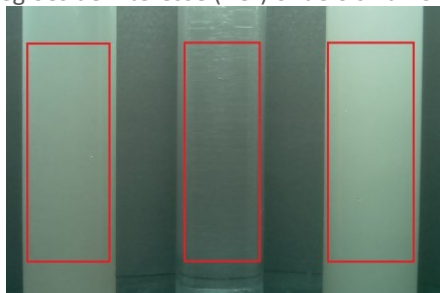
A Figura 3 apresenta os perfis de sedimentação para as amostras avaliadas. A sedimentação de partículas acontece em menor tempo para partículas maiores, menores valores de escala de Mesh. A intensidade de radiação espalhada reduz com o tempo. O sinal é normalizado com a intensidade de radiação espalhada obtido da imagem em uma região (Figura 4).

Figura 3 - Perfis de sedimentação das amostras. Os pontos indicativos referem-se ao tempo necessário para cada amostra sofrer 50% da atenuação do sinal.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 - Exemplo de amostras no interior do dispositivo, e os retângulos vermelhos indicam as regiões de interesse (ROI) onde o sinal foi normalizado.



Fonte: Autoria própria.

Devido ao comportamento das curvas, tentou-se buscar uma relação entre a abertura média das peneiras com a relação inversa do tempo necessário para cada sinal se atenuar até determinado valor.

Conforme a Tabela 1 indica, foram analisados vários níveis do sinal, a fim de se obter a melhor relação.

Tabela 1 - Correlação linear entre a abertura média e a variável inversa do tempo, em diferentes intensidades do sinal.

Sinal em	Correlação linear (R <sup>2</sup> )
0.6	0.7842
0.5	0.9992
0.4	0.9587



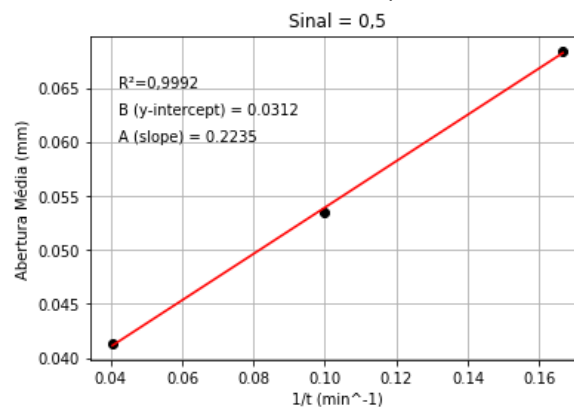
Sinal em	Correlação linear (R <sup>2</sup> )
0.3	0.9048
0.2	0.8694
0.1	0.8448

Fonte: A autoria própria (2020).

Na Figura 3, é possível observar os pontos que se referem a uma atenuação de 50% do sinal e o tempo em que cada amostra necessitou para chegar a essa atenuação. Isso indica, que o espalhamento da luz emitida pela lâmpada e captada pela câmera é a metade da inicial. Utilizou-se esses pontos pois a partir da Tabela 1, foi possível observar maior precisão com o sinal sendo igual à 0,5.

Como podemos observar na Figura 5, tornando a variável tempo inversa (1/tempo), consegue-se obter uma relação entre a granulometria e o tempo. Com isso quanto menor a variável inversa do tempo, menor a abertura média da peneira. Conseqüentemente maior será o número na escala Mesh.

Figura 5 - Relação inversa entre o tempo necessário para decantação quando sinal é igual a 0,5 com a abertura das peneiras.



Fonte: A autoria própria.

Contudo se percebe a partir da Tabela 1 e a Figura 5, que a relação entre a granulometria e o tempo quando sinal é igual a 0,5 possui um alto grau de linearidade, devido ao coeficiente de correlação ser elevado, sendo igual a R<sup>2</sup> = 0,9992. Logo podendo ser possível diferenciar o tamanho de partículas por processamento de imagem.

Outra forma de se analisar os dados, é por meio da constante de tempo que é um conceito largamente conhecido, fornecendo uma ideia de decaimento exponencial de uma grandeza analisada. Que é dado a partir da equação,

$$y(t) = Y_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \tag{2}$$

Sendo que,

Y<sub>0</sub> = Valor Inicial;

t = tempo;

τ = constante de tempo (tau);

Quando t = τ, a equação 2 se resume á:

$$y(t) = Y_0 e^{-1} = 0,368Y_0 \tag{3}$$

Na Tabela 2, analogamente encontra-se os valores de  $y(t) / Y_0$ .

Tabela 2 – Valores de  $y(t)/Y_0 = e^{-\frac{t}{\tau}}$

t	$y(t)/Y_0$
$\tau$	0.368
$2\tau$	0.135
$3\tau$	0.05
$4\tau$	0.018
$5\tau$	0.006

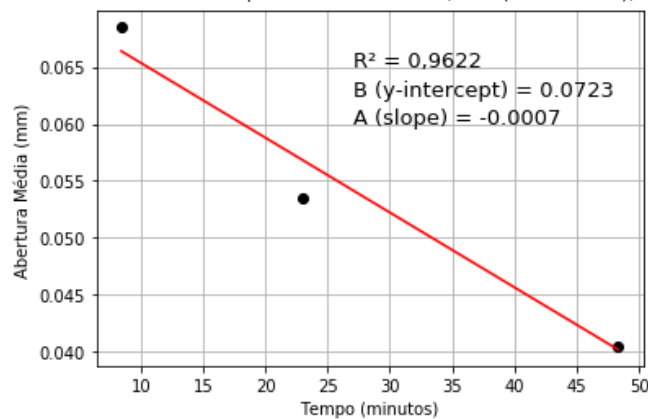
Fonte: Autoria própria (2020).

Fica evidente da Tabela 2 que o sinal  $y(t)$  é menor que 1% de  $Y_0$  após  $5\tau$  (cinco constante de tempo).

Portanto, é costumeiro supor que o sinal estará completamente atenuado após cinco constante de tempo. Em outras palavras, leva  $5\tau$  (cinco constante de tempo) para o sinal atingir seu estado final ou regime estacionário quando não ocorre nenhuma mudança com o tempo. Este comportamento é análogo ao tempo de carga e descarga de componentes eletrônicos armazenadores de energia, como exemplo os capacitores (SADIKU, ALEXANDER, 2013, p.226).

A análise consiste em relacionar o tempo necessário para o sinal se atenuar conforme os valores da Tabela 2 com a abertura média das peneiras. Tabelas e quadros devem estar centralizados e conter apenas dados imprescindíveis, evitando-se que sejam muito extensos, não repetindo dados já inseridos no texto, ou vice-versa.

Figura 6 - Relação entre o tempo necessário para sedimentação das partículas com abertura média das peneiras. Sinal = 0,368 ( $\tau$  – um tau);



Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Relação entre o tempo necessário para sedimentação das partículas com abertura média das peneiras, para os demais intensidades de sinais fornecidos pela Tabela 2.

Sinal	Correlação Linear ( $R^2$ )
0.135	1
0.05	0.9986
0.018	0.9978

Sinal	Correlação Linear ( $R^2$ )
0.006	0.9683

Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme a Figura 6, podemos observar em diferentes níveis do sinal que, é possível obter uma relação entre a granulometria e o tempo. Com isso quanto maior a variável tempo, menor a abertura média da peneira. Conseqüentemente maior será o número na escala Mesh.

Contudo, como os resultados tiveram um alto índice de correlação entre os parâmetros relacionados, para as diferentes intensidades do sinal, indica que o sinal gerado pelas partículas em sedimentação podem ser relacionados com a constante de tempo ( $t$ ), que apresenta um decaimento exponencial conforme a equação 2.

## CONCLUSÕES

Diante dos dados analisados, foi possível demonstrar uma relação inversa entre o tempo de necessário para decantação quando o sinal for igual a 0,5 com a abertura média das peneiras.

Em relação a constante de tempo, foi possível observar que as partículas em sedimentação apresentaram uma relação entre a abertura média das peneiras e o tempo necessário para a decantação das amostras, para as diferentes intensidades do sinal quando  $t = nr$ , com  $n = 1, 2, 3, 4, 5$ . Com isso descrevendo um decaimento exponencial do sinal, a partir da sedimentação em função do tempo.

Os resultados indicam que é possível determinar o tamanho médio das partículas em suspensão pela obtenção de imagens óticas de uma câmera. O processo monitorado associa-se a turbidez das soluções e, conseqüentemente com a quantidade de partículas em suspensão que espalham a radiação eletromagnética incidente.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é que para melhorar a análise dos dados obtidos, há a necessidade de levantamento de amostras, criando-se um banco de dados para o estudo e melhora do dispositivo desenvolvido. O que devido à paralisação das atividades acadêmicas, pelo fato da pandemia, não se tornou possível fazer mais amostras para se criar um banco de dados.

No entanto, a criação de um banco de dados não foi o único afetado. Em relação ao desenvolvimento de um método para análise do crescimento de bactérias, não se foi possível desenvolver amostras para a análise. Para a análise de placas de crescimento de bactérias seria necessário se desenvolver um suporte onde seria possível em que, a placa de análise, a fonte de radiação e a câmera (sensor) pudessem ser fixadas, de forma a manter os testes com maior exatidão e possíveis comparações com outras amostras.

## AGRADECIMENTOS

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

## REFERÊNCIAS

**Espectrofotometria:** Análise da concentração de soluções. Kasvi, fev. 2018. Disponível em: <https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes> . Acesso em: 22 de jul. de 2020.

KELLEY, Christopher D.; KROLICK, Alexander; BRUNNER, Logan; BURKLUND, Alison; KAHN, Daniel; BALL, William P.; WEBER-SHIRK, Monroe. **An Affordable Open:** Source Turbidimeter, abr. 2014. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/14/4/7142> . Acesso em: 18 de Jul. de 2020.

LAWLER, D. F. **Particle size distribution in treatment processes:** theory and practice, v. 36, n. 04, p. 15-23. Wat. Sci. Tech, 1997.

MARQUES FILHO, Ogê; NETO, Hugo Vieira. **Processamento digital de imagens**, Brasport, 1999. Disponível em: <http://projetoaprendizagemgrupo4.pbworks.com/w/file/fetch/96395952/Processamento%20Digital%20de%20Imagens.pdf> . Acesso em: 13 de jul. de 2020.

SADIKU, Matthew N. O.; ALEXANDER, Charles K. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**, ed. 5, p. 225-226. AMGH, mar. 2013.

STAUDINGER, Gernot; HANGL, Manfred; PECHTL, Peter. **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: 13 de jul. de 2020.