



Determinação do Coeficiente de Desoxigenação (K_1) de Efluente Doméstico Não Tratado

Luan Brait Figueiredo¹, Samuel Garcia de Oliveira Junior¹, Thamires Evelyn da Silva¹, Rodrigo Antonio Samproga¹, Antonio Donizetti Gonçalves de Souza¹

¹Instituto de Ciência e Tecnologia - Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG)
Poços de Caldas - MG - Brasil

luan.figueiredo@sou.unifal-mg.edu.br, samuel.junior@sou.unifal-mg.edu.br, thamires.silva@sou.unifal-mg.edu.br,
rodrigo.samproga@unifal-mg.edu.br, antonio.souza@unifal-mg.edu.br

Resumo. Este trabalho teve como objetivo determinar o coeficiente de desoxigenação (K_1) para o efluente doméstico não tratado originado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-3) do município de Poços de Caldas (MG). Foram utilizados 2 mL de esgoto e realizadas medidas de oxigênio dissolvido ao longo de nove dias de ensaio. Para a determinação do K_1 foi utilizado o método de dedução pela equação da Demanda Bioquímica do Oxigênio (DBO) exercida. O resultado obtido foi de $K_1=0,569$ (dia⁻¹), um valor elevado quando comparado aos valores descritos em literatura. Este valor provavelmente foi obtido devido às condições específicas do efluente, por se tratar de amostra concentrada há vários dias na ETE, refletindo em maiores valores de DBO durante o ensaio experimental. O método da dedução pela equação da DBO exercida se mostrou adequado para a determinação do K_1 . O trabalho pode subsidiar o uso de ferramentas e modelos de simulação de poluição hídrica, bem como o melhor entendimento dos impactos de efluentes domésticos sobre a qualidade da água de cursos d'água receptores.

Abstract. The aim of this study was to determine the deoxygenation coefficient (K_1) for untreated domestic effluent from the Sewage Treatment Plant (ETE-3) in the Poços de Caldas (MG). 2 mL of sewage was used and dissolved oxygen measurements were taken over nine days of testing. To determine K_1 , the deduction method using the BOD equation was used. The result obtained was $K_1=0.569$ (day⁻¹), a high value when compared to the values described in the literature. This value was probably obtained due to the specific conditions of the effluent, especially as the sample had been concentrated for several days in the ETE, resulting in higher BOD values during the experimental test. The work can support the use of water pollution simulation tools and models, as well as a better understanding of the impacts of domestic effluents on the water quality of receiving watercourses.

1. Introdução

O lançamento de esgotos domésticos sem tratamento em corpos d'água configura em um dos principais problemas de poluição hídrica no Brasil.

A matéria orgânica presente nos efluentes de origem doméstica tem como principal impacto a diminuição do oxigênio dissolvido nos corpos receptores, colocando em risco a manutenção da vida aquática e a saúde destes ecossistemas. Para Carvalho *et al.* (2013) o consumo de oxigênio dissolvido se deve aos processos de estabilização da matéria orgânica realizados pelas bactérias decompositoras, as quais utilizam o oxigênio disponível no meio líquido para a sua respiração.

Uma medida indireta da matéria orgânica em amostras de esgotos ou águas naturais pode ser realizada pela determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Esta variável também é muito utilizada para a avaliação da eficiência dos processos de tratamento em estações de tratamento de esgotos (ETEs).

O teste de DBO é realizado em laboratório, onde a amostra é incubada a uma temperatura de 20°C por 5 dias. Durante esse período, os microrganismos aeróbicos consomem o oxigênio dissolvido para realizar a degradação da matéria orgânica. A diferença da concentração de oxigênio dissolvido entre o início e o final da incubação é denominada DBO_{5,20}. Quanto maior a DBO, maior a concentração de matéria orgânica da amostra e maior a demanda de oxigênio necessária para sua estabilização pelos microrganismos. No entanto para a estabilização completa da matéria orgânica são necessários em média cerca de 20 dias, esta DBO é conhecida como DBO última (DBO_u), pois corresponde a todo o decaimento da matéria orgânica presente na amostra analisada.

O consumo de oxigênio dissolvido pode ser obtido utilizando-se as medições da DBO, sendo basicamente governado pelo coeficiente de desoxigenação, K₁, que é a velocidade com que esse mecanismo se processa (Nunes, *et. al*, 2013).

O coeficiente de desoxigenação (K₁), representa a taxa na qual o oxigênio é consumido pelos microrganismos durante a decomposição bioquímica. É uma constante que varia conforme a natureza da amostra e as condições de incubação, como temperatura e concentração de oxigênio dissolvido. A relação entre a DBO e o K₁ é estabelecida pelo fato de que o K₁ é utilizado para calcular a taxa de redução de oxigênio ao longo do tempo durante a incubação da DBO. Esta relação pode ser expressa segundo equação 01:

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 \cdot L \quad (01)$$

Onde:

L: Concentração de DBO remanescente (mg/L);

K₁: Coeficiente de desoxigenação (dia⁻¹);

t: Tempo (dia).

Segundo Moraes *et al.* (2020), o valor de K₁ depende das características da matéria orgânica, da temperatura e da presença de substâncias inibidoras. De forma geral, quanto maior o valor de K₁, maior a taxa de consumo de material orgânico e de depleção de oxigênio.

A determinação do K₁ tem grande importância para os modelos de simulação do oxigênio dissolvido e para o conhecimento dos efluentes a serem tratados (Guedes, *et al.*, 2019). O valor de K₁ também é necessário para se obter a DBO última (DBO_u), bem como

para conhecer com qual velocidade esse efluente irá retirar o oxigênio presente no meio, de forma a não prejudicar a vida aquática (Oliveira *et al*, 2012).

O modelo Streeter-Phelps é o modelo clássico de estudo de autodepuração de corpos hídricos e um dos mais utilizados para a previsão da concentração de oxigênio dissolvido em função do lançamento de cargas orgânicas em rios e córregos receptores (Vernier *et. al*, 2020). Este modelo permite avaliar a capacidade de autodepuração dos corpos d'água e a recuperação da degradação sofrida (Pereira Junior *et. al*, 2021). A viabilidade do uso do modelo Streeter-Phelps está na utilização de conceitos práticos e simples, além da formulação matemática menos complexa que a dos demais (Mendes, *et. al*, 2019).

Para aplicação do modelo Streeter-Phelps é preponderante a determinação do coeficiente de desoxigenação (K_1).

O valor de K_1 pode ser baseado em dados da literatura ou determinado a partir de dados experimentais para cada tipo de efluente e condições específicas, sendo as determinações experimentais mais vantajosas, pois apresentam maior exatidão para o entendimento dos efeitos da matéria orgânica sobre o consumo de oxigênio dissolvido e maior confiabilidade na aplicação dos modelos de simulação da qualidade da água.

Atualmente, a determinação de K_1 é promovida pelo acesso a programas estatísticos computacionais. Os métodos mais utilizados são os de regressão não-linear, em que a curva teórica é ajustada aos diversos pontos experimentais de DBO em função do tempo (Von Sperling, 2007).

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar o coeficiente de desoxigenação (K_1) para o efluente doméstico não tratado proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-3) do município de Poços de Caldas (MG) a partir de dados experimentais e posterior aplicação de método matemático.

2. Métodos matemáticos para cálculo do coeficiente de desoxigenação (K_1)

Existem vários métodos matemáticos e estatísticos que podem ser empregados para calcular o coeficiente de desoxigenação (K_1), dentre estes pode-se destacar o método gráfico de Thomas, o método dos mínimos quadrados e o método da dedução pela equação da DBO exercida.

Método Gráfico de Thomas

O método gráfico de Thomas utiliza a relação entre o tempo e a fração de DBO consumida, transformando a equação da cinética de 1ª ordem em forma linear alternativa.

Este método é baseado na similaridade da função $(1-10^{-kt})$ com a função $2,3kt[1+(2,3/6)k.t]-3$, obtida por meio de desenvolvimentos matemáticos de $f(t)=10^{-Kt}$, justificados por meio da série de expansões de Mc Laurin (McGhee, 1991 *apud* Aragão, 2016). Após rearranjos, obtém-se a equação 02 expressa pelos pares de coordenadas.

$$(t/y)^{1/3} = (2,3 \cdot K_1 \cdot L)^{-1/3} + [(K_1^{2/3})/(3,43 \cdot L^{1/3})] \cdot t \quad (02)$$

Onde:

y: DBO medida no intervalo de tempo t, (mg/L);

K_1 : Coeficiente de Desoxigenação (dia^{-1});

L: DBO máxima exercida (mg/L).

Após este processo, é elaborado um gráfico de valor $(t/y)^{1/3}$ em função de t . O valor de K_1 é gerado por meio do coeficiente angular da reta e intersecção com o eixo das coordenadas.

A vantagem deste método é que ele se apresenta mais robusto para dados experimentais sujeitos a erro, pois suaviza flutuações. As limitações do método estão relacionadas à exigência de maior número de pontos experimentais e ajustes gráficos (Oliveira *et. al*, 2012; Vernier *et. al*, 2020).

Método dos Mínimos Quadrados

Neste método, com base em um valor inicial de K_1 , inicia-se um processo iterativo, ajustando a curva de interpolação com o conjunto de dados experimentais de forma que a soma dos quadrados dos resíduos (a diferença entre os valores observados e calculados ao quadrado) seja a menor possível.

O desenvolvimento matemático do método é baseado no conceito da soma residual dos quadrados descrito na equação 03.

$$\sum R^2 = \sum_{i=0}^n \{y_{obs} - y_{calc}\}^2 \quad (03)$$

Onde:

R: Residual;

y_{obs} : DBO observada por dia, (mg/L);

y_{calc} : DBO calculada por dia, (mg/L).

Sendo $y_{calc} = L_0 \cdot (1 - e^{-Kt})$, substitui-se na equação 04:

$$\sum R^2 = \sum_{i=0}^n \{y_{obs} - L_0 \cdot (1 - e^{-Kt})\}^2 \quad (04)$$

A derivada da equação 04 resultará no mínimo da função, que é exatamente o resultado de interesse. O restante do desenvolvimento parte deste conceito inicial básico, aplicando métodos numéricos, sendo o K_1 calculado como o coeficiente linear.

As principais vantagens da determinação dos mínimos quadrados residem no fato do método não necessitar de linearização, reduzindo o viés nos parâmetros, gerando melhor ajuste com dados reais. No entanto o método requer *softwares* ou programação estatística e pode apresentar erros se o valor inicial adotado de K_1 não for adequado (Moraes *et. al*, 2020; Formentini e Gastaldini, 2011).

Dedução pela Equação da DBO Exercida

Para utilizar o método de dedução pela equação da DBO exercida, assume-se que a taxa de consumo de oxigênio é proporcional à quantidade de matéria orgânica remanescente (cinética de 1ª ordem), equação 05.

$$L = L_0(1 - e^{-k_1 t}) \quad (05)$$

Onde:

L: DBO exercida medida (mg/L);

L_0 : DBO última (mg/L);

K_1 : Coeficiente de Desoxigenação (dia^{-1});

T: Tempo (dia).

Ao rearranjar e aplicar \ln na equação 05:

$$y = \ln\left(\frac{-L}{L_0} + 1\right) \quad (06)$$

Ao calcular um y para cada L medido, obtêm-se meios para realizar as seguintes somatórias:

$$\sum_{i=1}^{i=n} t_i \quad (07)$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} y_i \quad (08)$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} t_i^2 \quad (09)$$

$$\sum_{i=1}^{i=n} t_i y_i \quad (10)$$

Ao aplicar as equações 07, 08, 09 e 10 em um sistema, obtêm-se as seguintes equações:

$$(n_t + 1)a + \left(\sum_{i=1}^{i=n} t_i\right)b = \sum_{i=1}^{i=n} y_i \quad (11)$$

$$\left(\sum_{i=1}^{i=n} t_i\right)a + \left(\sum_{i=1}^{i=n} t_i^2\right)b = \sum_{i=1}^{i=n} t_i y_i \quad (12)$$

Onde:

b: K_1

Este método apresenta a vantagem de ser relativamente simples, exigindo apenas ensaios experimentais de DBO ao longo do tempo. A única ressalva é o cuidado com os dados experimentais em amostras com concentrações baixas de DBO (Aragão, 2016; Nunes *et. al*, 2013; Menezes, *et. al*, 2015).

3. Metodologia

3.1 Estação de Tratamento de Esgotos (ETE-3)

A Estação de Tratamento e Esgoto (ETE-3) do município de Poços de Caldas está situada à margem direita do rio Ribeirão das Antas, coordenadas geográficas 21°50'06"S e 46°36'02"O (Figura 01).

A ETE-3 é composta basicamente pelo tratamento preliminar, sendo quatro reatores de manta de lodo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), por um sistema de desidratação e mistura do lodo com cal e por um sistema de queima de gases (DMAE, 2013).



Figura 01. Foto aérea da ETE-3 no município de Poços de Caldas (MG).

Fonte: Google Earth.

Segundo dados do Plano Diretor Municipal de Esgotamento Sanitário, a ETE-3 trata cerca de 65,0 L/s de esgoto doméstico, representando aproximadamente 12 % do esgoto total produzido no município, com uma eficiência de 60% de remoção (DMAE, 2013).

A ETE-3 lança o efluente tratado no rio Ribeirão das Antas e o tratamento é importante, não somente pelo atendimento à legislação ambiental, mas também devido o rio Ribeirão das Antas ser afluente do reservatório Bortolan, situado cerca de 8,0 km a jusante, utilizado para geração de energia elétrica e recreação da população (Godoi *et. al*, 2024).

Neste trabalho, a amostra de esgoto foi coletada em um tanque que se encontrava há uma semana sem ser processado para o tratamento, portanto tratou-se de uma amostra mais concentrada que o padrão de efluente normalmente recebido pela ETE-3.

3.2 Ensaio Experimental - Determinação da DBO

Para os ensaios laboratoriais, foram utilizados 2 mL de esgoto concentrado proveniente da ETE-3 sem tratamento em seis frascos de DBO diluídos com água de diluição que é específica para o teste de DBO.

A água de diluição foi preparada com uma mistura dos seguintes nutrientes: solução tampão de fosfatos (KH_2PO_4), solução de sulfato de magnésio (MgSO_4) solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) e solução de cloreto férrico (FeCl_3), segundo método descrito na Norma NBR 12514 (ABNT, 1992).

Após a preparação destas soluções, em um garrafão foi colocada água destilada aerada por 1 hora e deixada em repouso por 30 minutos. A água de diluição foi composta de água destilada aerada e 1 mL de cada uma das soluções de nutrientes para cada litro de água destilada utilizada.

As concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) foram medidas durante nove dias, mantendo-se um intervalo de dois dias entre as medições. As medidas foram realizadas com oxímetro de bancada da marca Vernier ($0,0\text{-}15,0 \text{ mg/L} \pm 0,2 \text{ mg/L}$).

Para amostra Branco foi utilizada somente água de diluição, sem adição de amostra de esgoto doméstico.

3.3 Método Matemático utilizado para a determinação do K_1

Para calcular o coeficiente de desoxigenação (K_1), foi utilizado o método da dedução pela equação da DBO exercida (equações 05 a 12).

Segundo Aragão (2016) em ensaios experimentais, como é o caso do presente estudo, é mais indicado determinar o K_1 com base em registros de valores de L ao longo do tempo. Ou seja: inicia-se com a determinação de L_0 e após, em subsequentes intervalos de tempo ($t_1 = t_0 + \Delta t \dots t_n = t_{n-1} + \Delta t$), determinam-se os sucessivos valores L . Desta forma é possível estimar não apenas o K_1 , mas também a ordem do decaimento.

Portanto, este método foi escolhido devido a se apresentar mais adequado para dados experimentais resultantes dos ensaios de DBO ao longo de um determinado tempo.

4. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos durante o período do ensaio encontram-se na Tabela 01 e na Figura 02.

Tabela 01. Resultados do ensaio durante o período de estudo.

Frascos	Volume Frasco (mL)	Volume Amostra (mL)	Fator Diluição	OD Inicial (mg/L)	OD Final (mg/L)	Consumo OD (mg/L)	DBO Exercida (mg/L)
Branco	318,59	0,00	-	7,20	7,10	0,10	0,10
01	323,99	2,00	161,99	7,20	6,30	0,90	145,79
02	313,74	2,00	156,87	7,20	5,10	2,10	329,43
03	322,54	2,00	161,27	7,20	4,70	2,50	403,17
04	318,14	2,00	159,07	7,20	4,50	2,70	429,49
05	319,61	2,00	159,80	7,20	4,50	2,70	431,47

Fonte: Autores.

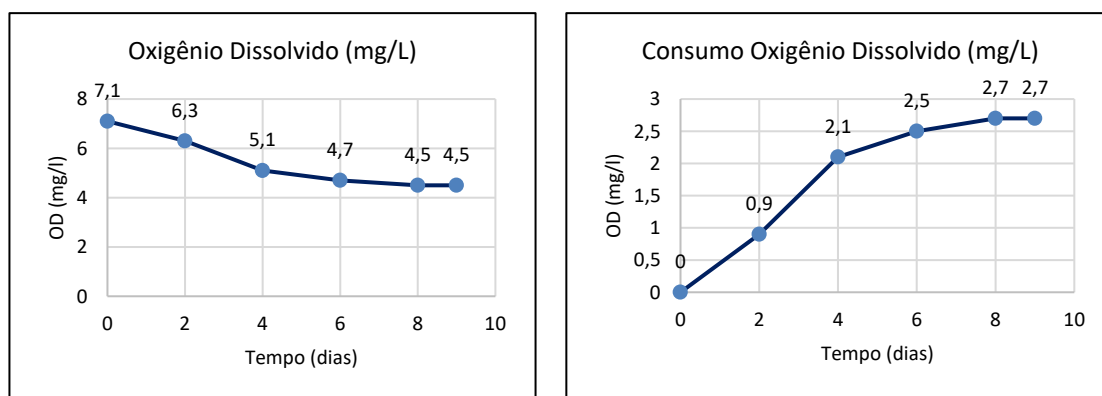


Figura 02. Progressão dos valores de e consumo de oxigênio durante o ensaio.

Fonte: Autores.

Os resultados obtidos para a DBO exercida durante o ensaio estão representados na Figura 03.

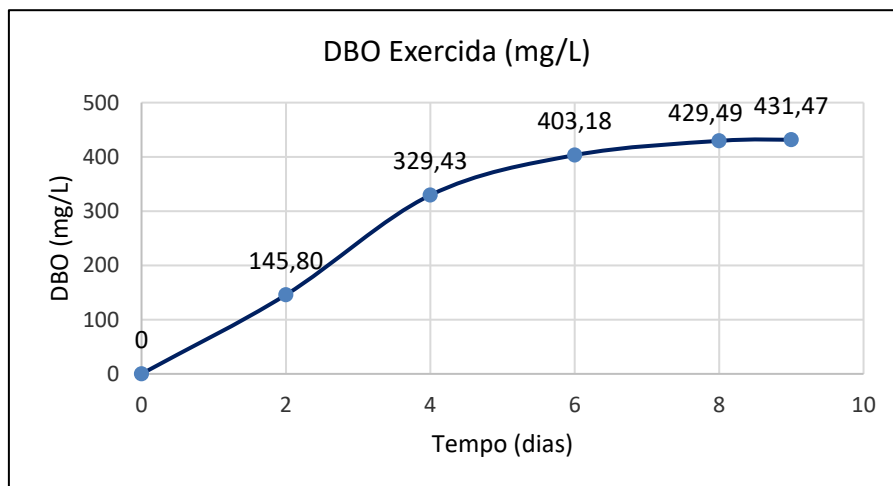


Figura 03. Valores de DBO exercida durante o ensaio.

Fonte: Autores.

Os resultados demonstraram que a partir do 8º dia, o consumo de oxigênio dissolvido se estabiliza ($OD=2,7 \text{ mg/L}$), o que refletiu nos valores de DBO medidos, havendo a estabilização da degradação da matéria orgânica.

O cálculo do coeficiente de desoxigenação (K_1), realizado pela dedução da equação da DBO exercida após aplicação das equações 05 a 10, resultaram nos seguintes passos:

$$\sum_{i=1}^6 t_i = 29$$

$$\sum_{i=1}^6 y_i = -13,622$$

$$\sum_{i=1}^6 t_i y_i = -100,449 \quad \sum_{i=1}^6 t_i^2 = 201$$

Após substituir os valores nas equações 11 e 12, obteve-se $a = 0,479$ e $b = 0,569$, onde $b = K_1 = 0,569 \text{ (dia}^{-1}\text{)}$.

O valor encontrado para o K_1 neste estudo são maiores que o valor de efluentes domésticos sem tratamento ($0,35\text{-}0,45 \text{ dia}^{-1}$) descritos em Von Sperling (2014). Essa diferença pode ser atribuída à elevada concentração de matéria orgânica na amostra, especialmente dado o fato de se tratar de amostra altamente concentrada há vários dias na ETE-3.

A Tabela 02 apresenta alguns valores de K_1 determinados e utilizados por alguns autores em comparação ao presente trabalho.

Tabela 02. Comparação de valores de K_1 determinados por diferentes autores.

Autores	Determinação do K_1	Valores de K_1 (dia ⁻¹)
Araújo e Saron (2019)	Dados experimentais e mínimos quadrados.	0,500
Mendonça <i>et. al</i> (2020)	Literatura e calibração Streeter-Phelps.	1,150
Morais <i>et al.</i> (2020)	Dados experimentais e mínimos quadrados.	0,563
Conceição <i>et. al</i> (2017)	Literatura e calibração Streeter-Phelps.	0,659
Guedes <i>et. al</i> (2019)	Dados experimentais e regressão linear.	0,460
Mendes <i>et. al</i> (2019)	Literatura e calibração Streeter-Phelps.	0,413
Presente estudo	Dados experimentais e dedução DBO exercida.	0,569

Guedes *et. al* (2019) também encontraram um valor de K_1 experimental diferente do valor sugerido por Von Sperling (2014). Os autores reportaram que isto pode ocorrer quando há maior concentração de matéria orgânica presente no efluente em estudo.

Morais *et al.* (2020) registraram um valor de K_1 muito próximo ao encontrado neste trabalho ($K_1=0,563$ dia⁻¹) para água residuária de abatedouro, indicando que amostras concentradas refletem em valores mais elevados de K_1 .

Araújo e Saron (2019), encontraram um valor de K_1 de 0,500 dia⁻¹ e também pontuaram que este valor foi devido ao efluente utilizado apresentar alta concentração de matéria orgânica.

Portanto, o método de determinação do K_1 se mostrou adequado corroborando a afirmação de Aragão (2016) que indica o uso da dedução da equação da DBO exercida para dados provenientes de ensaios experimentais. Além disto, vários autores encontraram valores elevados de K_1 que podem estar relacionados às condições de maior concentração de matéria orgânica nas amostras de efluentes utilizados nos ensaios.

5. Conclusões

O presente trabalho utilizou o uma amostra do esgoto não tratado proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE-3) do município de Poços de Caldas (MG) para desenvolver uma aplicação matemática visando a determinação do coeficiente de desoxigenação (K_1) desta amostra.

O método da dedução pela equação da DBO exercida se mostrou adequado para a determinação do K_1 . O resultado de $K_1=0,569$ (dia⁻¹), obtido difere na literatura provavelmente devido às condições específicas do efluente, sobretudo por se tratar de amostra concentrada há vários dias na ETE, implicando em maiores valores de DBO obtidos durante o ensaio experimental.



O trabalho pode subsidiar o uso de ferramentas e modelos de simulação de poluição hídrica, bem como o melhor entendimento dos impactos de efluentes domésticos sobre a qualidade da água de cursos d'água receptores.

6. Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 12614: Águas - Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) - Método de Incubação (20°C, 5 dias)*. Rio de Janeiro, ABNT.
- ARAGÃO, P. E. A. (2016). *Análise sobre métodos de estimativa de parâmetros cinéticos em ensaio de degradação de matéria orgânica*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, UFC.
- ARAUJO, M. T.; SARON. A. (2019). Quantificação da matéria orgânica e do valor do coeficiente de desoxigenação de um efluente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XXX, ABES, Natal (RN).
- CARVALHO, M.; RICCIARDONE, P.; TORRES, D. M.; PEREIRA, C. S. S.; PEREIRA, O. S. (2013). Avaliação da influência do coeficiente de desoxigenação na autodepuração de um corpo hídrico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA INICIAÇÃO CIENTÍFICA, X, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Vassouras (RJ).
- CONCEIÇÃO, D. M.; ALENCAR, I. F. O.; BARSOSA, R. R. C.; SALES, R. J. M.; ARAÚJO, B. A. M. (2017). Aplicação do modelo simplificado de Streeter-Phelps para analisar a qualidade da água do rio Piranhas-Açu ao receber múltiplos lançamentos de efluentes. *Revista Tecnologia*, v. 38, n. 1, p. 22-38.
- DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgoto de Poços de Caldas. (2013). *Plano Diretor de Esgotamento Sanitário do Município de Poços de Caldas/MG*. Poços de Caldas, DMAE/HYDROS ENGENHARIA.
- FORMENTINI, T. A.; GASTALDINI, M. C.C. (2011). Determinação do coeficiente de desoxigenação em trechos do rio Vacacaí Mirim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, XVI, ABES, Porto Alegre (RS).
- GODOI, D. A.; SANTOS, E. D.; FERREIRA, M. G.; SOUZA, A. D. G. (2024). Avaliação do impacto de esgoto doméstico tratado sobre a qualidade da água do Ribeirão das Antas (Poços de Caldas/MG). *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 34-51.



- GUEDES, D. M.; TERAN, F.; J. C.; GUEDES, P. G. S. A. (2019). Avaliação da influência do coeficiente de desoxigenação no modelo de autodepuração utilizando efluentes de laticínio. *Revista Internacional de Ciências*, v. 09, n. 03, p. 32-46.
- MENDES, T. A.; ALVES, T. L.; MONTEIRO, P. R. A. (2019). Modelo Streeter-Phelps para estimativa do oxigênio dissolvido em trecho urbano do rio Meia Ponte. (2019). *Tecnia*, v. 4, n. 2, p. 60-67.
- MENDONÇA, T. P.; PETRECA, W. L.; SOUZA, A. D. G. (2020). Autodepuração de corpos hídricos: estudo do lançamento de esgoto doméstico no rio Lambari (Poços de Caldas/MG). *Geoambiente on-line*, n. 36, p. 85-103.
- MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; OLIVEIRA, L. F. C.; FIA, R. (2015). Deoxygenation rate, reaeration and potential for self-purification of a small tropical urban stream. *Revista Ambiente & Água*, v.10, n. 4, p. 748-757.
- MORAIS, N. W. S.; COELHO, M. M. H.; SILVA, F. S. S.; PEREIRA, E. L.; SANTOS, A. B. (2020). Caracterização físico-química e determinação de coeficientes cinéticos aeróbios de remoção da matéria orgânica de águas residuárias agroindustriais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 3, p. 489-500.
- NUNES, D. G.; MATOS, A. T.; SILVA, D.D.; FARAGE, J. A. P. (2013). Coeficientes de desoxigenação e de reaeração em trechos do rio Turvo Sujo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS0, XX, ABRH, Bento Gonçalves (RS).
- OLIVEIRA, M. C. S.; CASTRO, I. M. P.; GOMES, J. P. M.; BARBOSA, H. T.; LIMA, J. Q.; SANTOS, Y. T. C. (2012). Determinação do coeficiente de degradação (K_1) em amostras de resíduos esgotados de fossas na cidade de Juazeiro do Norte-CE. In: CONNEPI - CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, VII, Palmas (TO).
- PEREIRA JUNIOR, A.; MIRANDA, A. F. M.; BARROS, E. D. A.; SARDINHA, A. S. (2021). Capacidade de autodepuração em ambiente lótico a partir do modelo matemático de Streeter-Phelps no nordeste paraense. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, p. 1-20.
- VERNIER, L. J.; FORTES, P. R.; MEDEIROS, R. C.; PIZZOLATTI, B. S.; CAMARGO, M.; SCAPIN, J. (2020). Determinação do coeficiente de desoxigenação: análise de lixiviado. In: *O meio ambiente e a interface dos sistemas social e natural*, Silva, M. E. D. (org), Ponta Grossa (PR), Atena, 2020. p. 70-81.



VON SPERLING, M. (2007). *Estudo da modelagem da qualidade da água de rios*. Belo Horizonte, Editora UFMG.

VON SPERLING, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4. ed. Belo Horizonte, Editora UFMG.