

II-241 - QUANTIFICAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA E DO VALOR DO COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO DE UM EFLUENTE

Micheli Tutumi de Araujo⁽¹⁾

Estudante de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Senac – Santo Amaro.

Alexandre Saron⁽²⁾

Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Civil e Doutor em Ensino de Ciências e Matemática. Atua como Professor – Pesquisador no Centro Universitário Senac junto aos cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia de Produção e Engenharia de Computação.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Engenheiro Eusébio Stevaux, 823 - Santo Amaro – São Paulo – SP – CEP: 04696-000 - Brasil - Tel: (11) 98089-3891 - e-mail: michelit.senac@gmail.com

RESUMO

A indústria de laticínios demanda altos volumes de água em suas atividades, sobretudo, no processo de higienização. Consequentemente, são gerados elevados volumes de efluentes, ocasionando perdas no processo que podem variar de 1 a 3% do total de leite processado. Esses efluentes são caracterizados por elevadas cargas orgânicas devido à composição do leite, e seu lançamento nas águas de superfície ocasiona impactos que alteram a qualidade desse recurso, prejudicando os seres vivos. Considerando esse contexto, o presente trabalho abordou a quantificação da matéria orgânica durante 20 dias e do valor do coeficiente de desoxigenação (K_1) de efluentes simulados de laticínios com concentrações de 1% (v/v) e 3% (v/v). Também foi realizada a caracterização desses efluentes, sendo analisados os parâmetros pH, temperatura, turbidez, condutividade, sólidos totais e $DBO_{5,20}$. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental do Centro Universitário Senac – Santo Amaro. Foi possível verificar a influência das concentrações nos resultados obtidos e consequentemente na intensidade do impacto que seria ocasionado pelo lançamento desses efluentes, bem como a importância de realizações de estudos sobre o valor do coeficiente de desoxigenação.

PALAVRAS-CHAVE: Efluentes de Laticínios, Matéria Orgânica, Coeficiente de Desoxigenação (K_1).

INTRODUÇÃO

Uma das características da indústria de laticínios é a necessidade de grandes volumes de água e geração de altos volumes de efluentes. De acordo com Begnini e Ribeiro (2014), estima-se que sejam gerados 5 L de efluentes para cada 2 L de leite. Como o leite é um alimento natural rico em macro e micronutrientes, diversos microrganismos se alimentam dele, sendo alguns provenientes do ar ou dos equipamentos e utensílios utilizados na atividade industrial (JERÔNIMO *et al.*, 2012). Consequentemente, é necessário um controle sanitário de qualidade nos processos em que o leite é utilizado, como afirmam Jerônimo *et al.* (2012). Assim, em qualquer etapa do processamento do leite, os grandes volumes de efluentes gerados são ocasionados, sobretudo, pelo processo de higienização, que resulta em perdas não acidentais significativas de leite ou produtos lácteos (BALANNEC *et al.*, 2002). Segundo os autores, essas perdas variam de 1 a 3% do total de leite processado. O lançamento desse efluente nos corpos d'água causa um desequilíbrio no meio. Para responder a essa alteração, as cargas poluidoras são neutralizadas por um processo natural denominado autodepuração (VON SPERLING, 1996; ANDRADE, 2010).

Entre as substâncias presentes no leite, podem ser mencionados sais inorgânicos, gordura, caseína e lactose, que, consequentemente estão presentes nos efluentes gerados pelas indústrias de laticínios (SINGH, SINGH, IMAM, 2014). Os autores também afirmam que a presença desses compostos e de substâncias detergentes e de limpeza utilizadas na lavagem contribuem para um efluente com alta carga orgânica, constituída basicamente de leite, e valores elevados de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (BRIÃO, TAVARES, 2005; SINGH, SINGH, IMAM, 2014). Como apresentado na Tabela 1, são gerados efluentes de laticínios em cada etapa de processamento do leite, sendo a limpeza e/ou higienização do empreendimento, descartes, descargas, vazamentos e/ou derramamentos as principais operações geradoras de efluentes.

Tabela 1: Principais operações que geram efluentes na indústria de laticínios e suas descrições, segundo MACHADO *et al.*, 2002 *apud* TEIXEIRA, 2011.

FASE/OPERAÇÃO	DESCRIÇÃO
Limpeza e/ou higienização do empreendimento	Retirada de impurezas presentes em latões de leite; tanques; tubulações de leite; mangueiras de soro; bombas e utensílios utilizados na produção. Lavagem de pisos e paredes; operações de limpeza na linha de produção.
Descartes e/ou descargas	Descarte do soro, leiteiro e leite ácido nas tubulações; descarte de finos provenientes da fabricação de queijos; descarte de produtos provenientes da operação de empacotamentos perdidos durante o procedimento, produtos retornados a indústria.
Vazamentos e/ou derramamentos	Vazamento de leite nas tubulações e equipamentos devido a operações inadequadas; transbordamento de tanques; negligência durante as operações que possam ocasionar perdas e causar derramamentos em diversos locais.

Assim, considerando esse contexto, efluentes da indústria de laticínios foram simulados e analisados para este trabalho. As análises físico-químicas realizadas foram pH, temperatura, turbidez, condutividade, sólidos totais e DBO. Os parâmetros considerados apresentam diferentes significados ambientais e sanitários para a qualidade das águas, afetando, de maneira geral, o equilíbrio da vida aquática, como apresentado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (2017).

De acordo com Von Sperling (1996), a DBO compreende a “quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea”. Por padronização, é realizada a análise da DBO_{5,20}, ou seja, a DBO medida após 5 dias de incubação das amostras a 20 °C. Esse valor corresponde ao consumo de OD ocorrido durante os 5 dias. Porém, o consumo de OD varia ao longo do tempo, o que altera o valor da DBO com o passar dos dias (VON SPERLING, 1996). Após 20 dias, a quantidade de oxigênio que passa a ser consumida é desprezível (LEITE, 2004).

Segundo Von Sperling (1996), a interpretação da DBO pode ser feita a partir de dois ângulos diferentes: um a partir do oxigênio dissolvido (DBO exercida) e outro a partir da matéria orgânica restante (DBO remanescente). Ainda de acordo com o autor, a progressão temporal da DBO segundo tais interpretações ocorre como apresentado no gráfico da Figura 1.

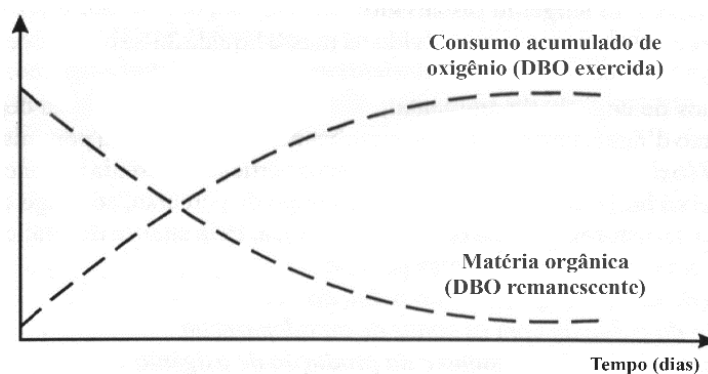


Figura 1: Progressão temporal da oxidação da matéria orgânica.
Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996).

Os valores de DBO obtidos durante 20 dias de análise permitem modelar a degradação de matéria orgânica da solução analisada. Essa modelagem, bem como de outros parâmetros, representa o comportamento de características de situações reais (como a capacidade de autodepuração de um corpo d’água), sendo, portanto, de extrema importância para avaliar os impactos causados por lançamentos de efluente e propor medidas de controle (ANDRADE, 2010). Nos processos de tratamento biológico de efluentes, uma das etapas envolve a desoxigenação e, por isso, o conhecimento da DBO última e da taxa de desoxigenação para o efluente em questão é essencial em projetos de estações de tratamento biológico (ADEWUMI, OKE, BAMGBOYE, 2005).

Para este trabalho, com os valores de DBO em função do tempo, para cada efluente simulado, foram calculados os respectivos valores do coeficiente de desoxigenação K_1 pelo método dos mínimos quadrados. O K_1 mede a velocidade de consumo do OD presente nas águas e, por isso, está diretamente ligado à biodegradabilidade da matéria orgânica medida pelo parâmetro DBO (FORMENTINI, 2010). Valores típicos de K_1 na base e, a 20 °C (Tabela 2), são apresentados por Von Sperling (1996).

Tabela 2: Valores típicos de K_1 (base e, 20 °C) apresentados por Von Sperling (1996).

Origem	K_1 (dia ⁻¹)
Água residuária concentrada	0,35 – 0,45
Água residuária de baixa concentração	0,30 – 0,40
Efluente primário	0,30 – 0,40
Efluente secundário	0,12 – 0,24
Rios com águas limpas	0,09 – 0,21
Água para abastecimento público	< 0,12

A relação matemática entre a DBO remanescente e o K_1 surge pelo decaimento da concentração da matéria orgânica através da variação desta concentração expressa pela equação (1), que descreve a velocidade de reação da matéria orgânica remanescente em um meio líquido.

$$dL/dt = -K_1 * L \quad \text{Equação (1)}$$

Integrando a equação (1), pode-se descrever a velocidade de reação da matéria orgânica remanescente em um meio líquido, como expressado por Von Sperling (1996) na equação (2).

$$L = L_0 * e^{-K_1 t} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

L = DBO remanescente em um tempo t (mg/L);

L_0 = DBO remanescente em $t=0$ (mg/L);

K_1 = coeficiente de desoxigenação (dia⁻¹);

t = tempo (dia).

Para a decomposição da matéria orgânica até determinado instante (DBO exercida representada na curva da Figura 1), utiliza-se a expressão 2 apresentada a seguir (VON SPERLING, 1996), dada pela informação de que $y = L_0 - L * t$. Inserindo esse dado na equação 2, tem-se a equação 3.

$$y = L_0 * (1 - e^{-K_1 t}) \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo:

y = DBO exercida em um tempo t (mg/L), sendo que $y = L_0 - L$;

L_0 = DBO remanescente em $t=0$ (mg/L).

OBJETIVO

O trabalho teve como objetivo quantificar a matéria orgânica em efluentes simulados de laticínios com diferentes concentrações v/v durante 20 dias afim de obter e interpretar o valor do coeficiente de desoxigenação pelo método dos mínimos quadrados.

METODOLOGIA

A preparação do efluente foi realizada considerando uma perda de 1 a 3% no processo industrial. Assim, para a preparação dos efluentes simulados 1% (v/v) e 3% (v/v), foram adicionados 10 mL e 30 mL de leite *in natura*, respectivamente, em 1000 mL de água. As análises físico-químicas foram realizadas seguindo os métodos estabelecidos no *22th Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

Para as análises de pH e temperatura, foi utilizado o pHmetro HI 98127, com precisão de $\pm 0,05$ pH. Os valores de temperatura considerados na caracterização dos efluentes foram obtidos durante as medições de pH. Para as análises de turbidez, utilizou-se o turbidímetro AP2000, com precisão de $\pm 2\%$. A condutividade das soluções foi medida com o condutivímetro de bancada CG2200, com precisão de ± 3 divisões.

Para a análise de sólidos totais (ST), foi utilizada a balança analítica AUY220, com precisão de $\pm 0,1$ mg. O cálculo realizado é apresentado na equação 4.

$$ST = (m_1 - m_2) * 10.000 \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo:

m_1 = massa da cápsula de porcelana vazia (em gramas);

m_2 = massa da cápsula de porcelana com resíduo (em gramas).

Na análise de DBO durante 20 dias, foi utilizado o medidor de OD HI 9146, com precisão ± 1 dígito. O preparo da água aerada utilizada foi realizado de acordo com os métodos definidos na norma ABNT NBR 12614:1992. A quantificação de $DBO_{n,20}$ para cada dia foi realizada seguindo a equação 5.

$$DBO_{n,20} = (OD_{\text{inicial}} - OD_{\text{final}}) * (V_{\text{total}}/V_{\text{amostra}}) \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo:

t = tempo (em dia);

OD_{inicial} = OD medido no primeiro dia de análise (em mg/L);

OD_{final} = OD medido no dia considerado (em mg/L);

V_{total} = volume total do frasco de OD (300 mL);

V_{amostra} = volume de amostra do efluente simulado colocado no frasco de OD (em mL).

O valor do θ foi obtido com o método dos mínimos quadrados, utilizando as equações 6 e 7, como apresentado por Metcalf & Eddy (2003):

$$na + b\sum y - \sum y^2 = 0 \quad \text{Equação (6)}$$

$$a\sum y + b\sum y^2 - \sum yy' = 0 \quad \text{Equação (7)}$$

Sendo:

n = número de dados;

$b = -K_1$;

y = DBO (mg/L);

$y' = dy/dt = (y_{n+1} - y_{n-1})/2\Delta t$.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos na caracterização dos efluentes simulados no trabalho são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Caracterização dos efluentes simulados 1% (v/v) e 3% (v/v).

Fonte: Autoria própria (2018).

Parâmetros	Efluente simulado 1% (v/v)	Efluente simulado 3% (v/v)
pH	7,5	7,5
Temperatura	19,5 °C	13,5 °C
Turbidez	271 NTU	863 NTU
Condutividade	133,5 μ S	165,7 μ S
Sólidos totais	1.208 mg/L	2.905 mg/L
$DBO_{5,20}$	533 mg/L	1.407 mg/L

Na quantificação da DBO exercida durante os 20 dias de análise, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: DBO exercida dos efluentes simulados 1% (v/v) e 3% (v/v) durante 20 dias.
Fonte: Autoria própria (2018).

Tempo (dias)	DBO exercida (mg/L)	
	Efluente simulado 1% (v/v)	Efluente simulado 3% (v/v)
1	130	557
2	292	1.259
3	384	1.308
4	-	-
5	533	1.407
6	711	1.504
7	690	1.528
8	-	1.566
9	776	1.542
10	721	1.979
11	-	-
12	788	1.613
13	729	1.621
14	837	1.695
15	756	1.474
16	824	1.667
17	863	1.706
18	-	-
19	938	1.475
20	927	1.683

Observação: (-) – Não foi realizada a medição.

A variação temporal da DBO exercida e DBO remanescente dos efluentes simulados é apresentada nas Figuras 2 e 3. A Figura 2 apresenta os valores referentes ao efluente simulado 1% (v/v) e a Figura 3 apresenta os valores referentes ao efluente simulado 3% (v/v).

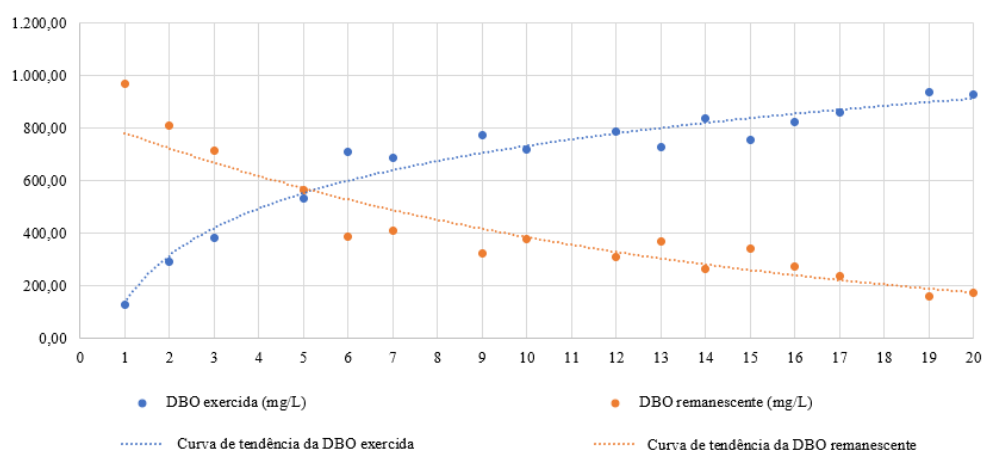


Figura 2: Variação temporal da DBO exercida e DBO remanescente do efluente simulado 1% (v/v).
Fonte: Autoria própria (2018).

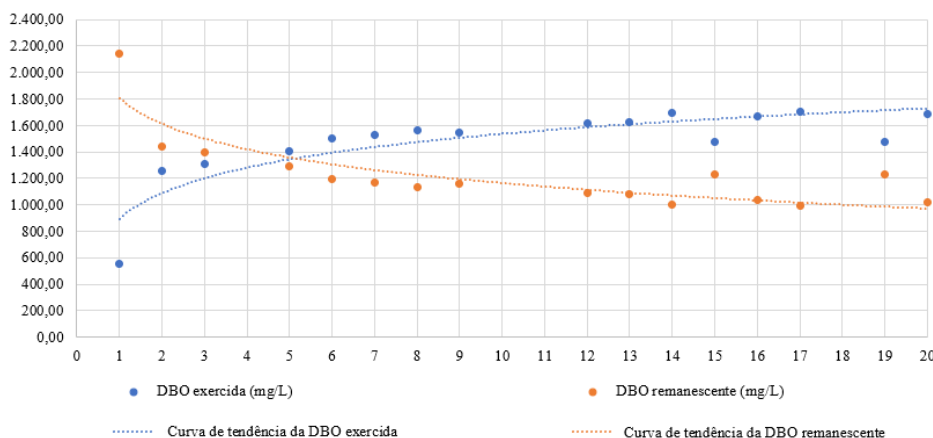


Figura 3: Variação temporal da DBO exercida e DBO remanescente do efluente simulado 3% (v/v).
Fonte: Autoria própria (2018).

Com os valores de DBO exercida obtidos, foram calculados por mínimos quadrados os valores de K_1 e L_0 para os efluentes simulados. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de K_1 e L_0 para os efluentes simulados 1% (v/v) e 3% (v/v).
Fonte: Autoria própria (2018).

Parâmetros	Efluente simulado 1% (v/v)	Efluente simulado 3% (v/v)
K_1	0,18 dia ⁻¹	0,5 dia ⁻¹
L_0	937,89 mg/L	1.668,70 mg/L

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os valores obtidos com a caracterização dos efluentes simulados demonstram a influência da concentração das soluções sobre os valores dos parâmetros de turbidez, sólidos totais, condutividade e $DBO_{5,20}$. Para esses parâmetros, a solução 1% (v/v) apresentou valores menores em relação aos resultados observados para a solução 3% (v/v). Assim, um efluente de laticínio mais concentrado causaria impactos relativamente maiores ao meio ambiente, em relação a efluentes de laticínios com menor concentração.

Com base nos valores típicos de K_1 apresentados por Von Sperling (1996), o efluente simulado 1% (v/v) pode ser caracterizado como um efluente secundário, uma vez que seu coeficiente de desoxigenação está entre 0,12 e 0,24 dia⁻¹. Por sua vez, o efluente simulado 3% (v/v) apresentou um K_1 de 0,5 dia⁻¹, que é um valor maior que o range considerado por Von Sperling para um efluente concentrado. Os valores de K_1 obtidos corroboram com o fato da degradação da matéria orgânica em efluentes de laticínios ser afetada pela sua concentração.

CONCLUSÕES

Com este trabalho científico, pode-se evidenciar a necessidade de estudos sobre o valor do coeficiente de desoxigenação de um efluente em projetos que o envolvam, como, por exemplo, modelagens matemáticas de autodepuração de corpos hídricos e projetos de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs). Com esses estudos, o valor do coeficiente poderá ser o mais real possível, pois em um mesmo efluente, dependendo de sua concentração em matéria orgânica, o valor de K_1 poderá ser muito diferenciado de dados empíricos de literatura, o que poderá afetar nos resultados de modelagens matemáticas de autodepuração de corpos hídricos e projetos de estações de tratamento de efluentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADEWUMI, I., OKE, I. A., BAMGBOYE, P. A. *Determination of the Deoxygenation Rates of a Residential Institution's Wastewater. Journal of Applied Sciences*, v. 5, n. 1, p. 108-112, 2005.
2. ANDRADE, L. N. Autodepuração dos corpos d'água. *Revista da Biologia*, v. 5, p. 16-19, dez. 2010.
3. BEGNINI, B. C., RIBEIRO, H. B. Plano para Redução de Carga Poluidora em Indústria de Laticínios. *Saúde e Meio Ambiente*, v. 3, n. 1, p.19-30, jun. 2014.
4. BELANNEC, B., GÉSAN-GUIZIOU, G., CHAUFER, B., RABILLER-BAUDRY, M., DAUFIN, G. *Treatment of dairy process waters by membrane operations for water reuse and milk constituents concentration. Desalination*, v. 147, n. 1-3, p. 89-94, set. 2002.
5. BRIÃO, V. B., TAVARES, C. R. G. Geração de Efluentes na Indústria de Laticínios: Atitudes Preventivas e Oportunidades. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande: ABES, 2005.
6. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. São Paulo: CETESB, 2017.
7. FORMENTINI, T. A. Coeficientes de Desoxigenação e de Reaeração Superficial em Trechos do Rio Vacacaí Mirim. Santa Maria, 2010. Dissertação de mestrado – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
8. JERÔNIMO, C. E. M., COELHO, M. S., MOURA, F. N., ARAUJO, A. B. A. Qualidade Ambiental e Sanitária das Indústrias de Laticínios do Município de Mossoró-RN. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 7, n. 7, p. 1349-1356, mar.-ago. 2012.
9. LEITE, A. E. B. Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de
10. qualidade d'água, SisBAHIA®. Rio de Janeiro, 2004. Dissertação de mestrado – Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, 2004.
11. METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed.* New York: McGraw-Hill, 2003.
12. TEIXEIRA, Carlos de Oliveira. Efluentes de laticínios, enquadramento legal e a representação dos técnicos e gerentes, 2011. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011.
13. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996.