

CARACTERIZAÇÃO E REDIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE SORVETES

Nome⁽¹⁾ Cristiane Bozzetto

Acadêmica do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - UFSM, campi Frederico Westphalen.

Nome Luciana Gregory Ritter

Acadêmica do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - UFSM, campi Frederico Westphalen.

Nome Neomara Mariani

Acadêmica do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - UFSM, campi Frederico Westphalen.

Nome Raphael Correa Medeiros

Professor Adjunto da Universidade Federal de Santa Maria, campi Frederico Westphalen.

Nome Juliana Scapin

Professora Assistente da Universidade Federal de Santa Maria, campi Frederico Westphalen.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais. CESNORS - UFSM. Linha 7 de Setembro, BR 386, km 40. Frederico Westphalen - RS. CEP: 98400-000. Brasil. Tel +55 (55) 3744-8964, ramal 8840. e-mail: crisbozzetto@hotmail.com

RESUMO

A composição do efluente da indústria de sorvetes está relacionada à presença de leite, matérias-primas auxiliares, detergentes e desinfetantes usados nas operações de lavagem, lubrificantes empregados na manutenção de equipamentos e despejos sanitários, podendo causar diversos impactos ambientais. Nesse contexto, o presente trabalho aborda a caracterização e redimensionamento do sistema de tratamento de efluentes de uma indústria de sorvetes e picolés situada na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.

A caracterização do efluente foi realizada cinco vezes, no período de maio a outubro de 2014, e apresentou valores intermediários aos encontrados na literatura. Após isso, procedeu-se ao redimensionamento do sistema, sendo o mesmo composto por uma lagoa facultativa, o qual foi escolhido em função das características de produção e da disponibilidade de área do estabelecimento. A lagoa apresentaria, teoricamente, remoções acima de 90% para DBO, estando, portanto, de acordo com a legislação estadual.

PALAVRAS-CHAVE: água residuária, matéria orgânica; lagoa facultativa.

INTRODUÇÃO

A indústria de laticínios tem uma parcela importante na indústria alimentícia no mercado brasileiro e mundial. A geração de efluentes em indústrias lácteas é elevada e são gerados no processo industrial - lavagem de equipamentos, nos contêineres armazenadores de matérias-primas, subprodutos de produção - e os sanitários, sendo necessário e obrigatório o tratamento prévio de seus despejos líquidos antes do lançamento para disposição final. (Karadag et al. 2014; Machado et al. 2002; Machado, 2005).

A variedade de produtos dessas indústrias é grande, abrangendo desde o processamento do leite ou queijo até uma imensa variedade de multiprodutos, tais como: requeijão, cremes, sorvetes, iogurtes, leite em pó, leite condensado, entre outros. (Moreira, 2007).

Os sorvetes são produtos alimentícios obtidos de uma emulsão de gordura e proteínas, com ou sem a adição de outros ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes e substâncias que tenham sido submetidos ao congelamento, em condições tais que garantam a conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado, durante a armazenagem, o transporte e da entrega ao consumo (CETESB, 2008).

O efluente gerado é constituído principalmente de leite (tanto matéria-prima quanto seus derivados), possuindo, ainda, açúcares (lactose), proteínas solúveis, lipídios, sais minerais, detergentes (Karadag et al. 2014; Torres-Sánchez et al. 2014). Esses constituintes acarretam altas concentrações de matéria orgânica (DBO, DQO), óleos e graxas, nitrogênio, fósforo etc (BRIÃO, 2000).

Segundo Matos (2005) e Moreira (2007), esse efluente pode ocasionar diversos impactos ambientais oriundos dos resíduos sólidos, formando ácidos orgânicos através da fermentação, ocasionando maus odores, alteração da temperatura, aumento da concentração de sólidos solúveis (aumentando a turbidez), diminuição do oxigênio dissolvido em águas superficiais e a contaminação do solo, quando disposto diretamente.

Para diminuir as consequências poluidoras desse setor, técnicas de tratamento são aplicadas com o intuito de conferir propriedades químicas e físicas não deletérias ao efluente, controlando assim as fontes poluidoras e seus consequentes impactos ambientais. (Matos, 2005).

O tratamento de efluentes de indústrias alimentícias normalmente é do tipo biológico. Pois o tratamento biológico tem a função de remover a matéria orgânica do efluente industrial, através do metabolismo de oxidação e de síntese de células. O tratamento biológico é utilizado pela grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável, presente em sua composição (BRAILE, 1979 apud NIRENBERG, 2005).

Os processos mais utilizados para o tratamento dos efluentes de laticínios são o de flotação com o auxílio da coagulação química para a remoção de gorduras (primário), e UASB, filtros anaeróbios, lodos ativados, biodigestor, lagoas de estabilização (secundário). (Hawkes et al. 1995; Moreira, 2007).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Caracterizar o efluente da indústria de sorvetes, avaliando sua tratabilidade, visando melhorias que atendam aos padrões de disposições finais vigentes na legislação do Estado - Resolução CONSEMA n.º 128/2006 - a partir do redimensionamento do sistema de tratamento.

2.2 Objetivos Específicos:

- Caracterizar o efluente bruto;
- Avaliar e discutir alternativas de processos de tratamentos do efluente;
- Redimensionar o sistema de tratamento de efluente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição do Local de Estudo

A indústria de sorvetes, localizada no distrito industrial no município de Taquaruçu do Sul – RS e situa-se na Mesorregião Noroeste Rio-grandense (conforme figura 1) e possui uma população de 2.970 habitantes (CENSO 2010).

Caracterização do Efluente

Atualmente, o efluente bruto produzido na Indústria de Sorvetes é encaminhado para uma "estação de tratamento", composta atualmente por duas caixas para retirada de gordura e um tanque de mistura.

Foram realizadas cinco coletas de amostras de efluente bruto, entre os meses de maio e outubro de 2015, com intuito de caracterização, as quais eram, posteriormente, encaminhadas para o Laboratório de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), *campi* de Frederico Westphalen – RS.



Figura 1: Município Taquaruçu do Sul.
Fonte: Prefeitura Taquaruçu do Sul.

Os parâmetros físico-químicos, que foram analisados, estão relatados na tabela 1, com seus respectivos métodos de ensaio.

Tabela 1: Caracterização de efluente de indústria de sorvetes.

| PARÂMETROS | UNIDADE | MÉTODO |
|------------------------------|---------|--|
| DBO | mg/L | Sistema para medição de DBO – OXDIRECT |
| DQO | mg/L | Colorimétrico por Refluxo Fechado * |
| FÓSFORO TOTAL | mg/L | Colorimétrico * |
| NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL | mg/L | Macro-Kjeldahl * |
| SÓLIDOS TOTAIS | mg/L | Gravimetria * |
| SÓLIDOS TOTAIS FIXOS | mg/L | Gravimetria * |
| SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS | mg/L | Gravimetria * |
| TEMPERATURA | ° C | Termômetro de mercúrio |
| TURBIDEZ | UNT | Nefelométrico * |
| PH | ----- | Potenciométrico * |

* APHA et al. (2005).

Dimensionamento do Sistema de Tratamento de Efluentes

Após avaliar os resultados das análises químicas, a disponibilidade de área da empresa, e os limites estabelecidos para os parâmetros na legislação, optou-se pelo dimensionamento de um sistema composto por lagoa facultativa. Para isso, foram seguidos os autores: Jordão e Pessoa (2005); Metcalf e Eddy (2003) e Von Sperling (2013).

A vazão de efluente nos meses quentes (outubro a abril), quando a produção é mais elevada, fica em torno de 5 m³/ dia; enquanto nos meses mais frios (maio a setembro), com queda da produção e, conseqüentemente, de efluente, é aproximadamente, 1 m³/dia. Os cálculos foram realizados para os meses quentes e depois verificados na condição dos meses frios.

RESULTADOS

São poucos os trabalhos de caracterização de efluente de indústria de sorvetes, o que mais se encontra na literatura, e se assemelha, são efluentes de laticínios.

Os resultados para os parâmetros físico-químicos propostos, os quais serviram como subsídio para o redimensionamento do sistema e estimativa de sua eficiência, podem ser visualizados na tabela 2.

Tabela 2: Caracterização de efluente de indústria de sorvetes.

| VARIÁVEIS ANALISADAS | UNIDADE | MÉDIA | DESVIO PADRÃO | VALOR MÁXIMO | VALOR MÍNIMO |
|---------------------------|---------|-------|---------------|--------------|--------------|
| DBO | mg/L | 3268 | 730 | 3880 | 2420 |
| DQO | mg/L | 7661 | 530 | 8058 | 6754 |
| FÓSFORO TOTAL | mg/L | 16 | 7 | 22 | 7 |
| NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL | mg/L | 28 | 13 | 39 | 12 |
| TEMPERATURA | °C | 21,5 | 1,9 | 24,7 | 20,1 |
| TURBIDEZ | UNT | 938 | 363 | 1351 | 538 |
| PH | ----- | 4,36 | 0,41 | 4,71 | 3,73 |
| SÓLIDOS TOTAIS | mg/L | 2815 | 783 | 3830 | 1920 |
| SÓLIDOS TOTAIS FIXOS | mg/L | 662 | 286 | 1120 | 412 |
| SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS | mg/L | 2077 | 658 | 3170 | 1490 |

Em função dos agentes utilizados na limpeza (ácidos e/ou alcalinos) e desinfetantes, o pH do efluente sofre alterações, sendo os agentes mais utilizados a soda cáustica, ácido nítrico, ácido fosfórico e hipoclorito de sódio. A fim de promover a remoção de depósitos minerais e sanitização, são utilizados os ácidos, e os detergentes básicos são utilizados para promover a saponificação de gorduras e remoção de substâncias protéicas (BRITZ et al., 2008 apud ANDRADE, 2011).

No meio ambiente, a elevação ou redução no valor do pH resulta em efeitos diretos sobre a fisiologia das diversas espécies, além de proporcionar condições que favoreçam a precipitação de elementos químicos tóxicos, bem como afetar a solubilidade de nutrientes (PIVELI e KATO, 2005).

Observa-se um efluente bastante ácido. Segundo Qasim e Mane (2013), pode estar relacionada à rápida fermentação do açúcar presente no leite e geração de ácido láctico. Com questão aos sólidos, os sólidos totais voláteis, aproximadamente 75% dos sólidos totais, um bom indicativo de material orgânico e de biomassa microbiana.

A biodegradabilidade do efluente (DBO/DQO) foi, em média, 0,43; um bom indicativo para utilização de tratamento biológico. No entanto, a relação DBO:N:P esteve próxima a 100: 0,5: 0,9, o que resulta em baixas concentrações de nutrientes para o metabolismo microbiano; sendo necessário, portanto, adição de nitrogênio e fósforo no tratamento. Resultados semelhantes foram descritos por Borja e Banks (1994, 1995) e Ahmad et al. (2007).

Segundo Machado et al. (2002) a relação entre DBO/DQO para os efluentes de indústria de laticínios se encontra entre 0,50 e 0,70, sendo que para as amostras analisadas o valor médio desta relação foi de 0,43. Valores fora dessa faixa promovem um indicativo de que o efluente é de natureza incomum, podendo ser contaminado com amônia ou outras substâncias tóxicas.

Andrade (2011), ao analisar o efluente gerado em uma indústria de laticínios que trabalha com a produção de leite UHT, iogurte, queijo minas, requeijão e *petit suisse*, obteve valores de DQO da ordem de 1425 a 2515 mg L⁻¹. Trabalhos de Hawkes et al. (1995), Ahmad et al. (2007) e Qasim e Mane (2013) relatam valores entre 523 e 2450 mg.L⁻¹ para DBO e de 1022 a 11900 mg.L⁻¹ para DQO para efluentes de indústria de sorvetes.

A análise da DBO torna-se de fundamental importância, pois esta retrata de uma forma indireta o teor de matéria orgânica nos efluentes ou no corpo d'água, fornecendo uma indicação do potencial do consumo de oxigênio dissolvido. Como consequência de um elevado teor de matéria orgânica, têm-se o esgotamento do oxigênio na água, que leva ao desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática (AZZOLINI e FABRO, 2013).

Andrade (2011), em avaliação de efluente bruto de indústria de laticínio, obteve concentração média de fósforo de 15,6 mg L⁻¹, valor semelhante ao obtido neste estudo. Segundo o autor, o fósforo presente no efluente de indústrias de laticínios é proveniente do uso de ácido fosfórico e detergente na lavagem de instalações e a presença de nitrogênio, está relacionada com a alta concentração de proteínas. Borja e Banks (1995), Ahmad et al. (2007) e Qasim e Mane (2013) encontraram média de 14 mg.L⁻¹ de fósforo e de 13,6 a 88,5 mg.L⁻¹ de nitrogênio total Kjeldahl para efluentes de indústria de sorvetes, bastante próximos aos relatados no presente trabalho.

Redimensionamento do sistema

Por se tratar de uma indústria voltada à produção de sorvetes e picolés, esta tem o pico de sua produção nos meses de verão, e uma elevada redução nos totais produzidos nos meses de inverno. Sendo assim, o sistema foi dimensionado com base nas variações de vazão e temperatura dos períodos de verão e inverno, a fim de se obter o tamanho necessário em função da elevada produção no verão e acompanhar a variação da eficiência no inverno.

Dados adotados:

$$Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{DBO afluente (So)} = 3.268 \text{ mg/L}$$

$$\text{Temperatura} = 28 \text{ }^\circ\text{C (média da região nos meses quentes)}$$

$$\text{Profundidade} = 2 \text{ m}$$

Tempo de detenção hidráulica (TDH) = 50 dias (por recomendações da literatura, a fim de se evitar TDH muito elevado, caso o dimensionamento fosse realizado a partir da adoção de uma taxa de aplicação superficial de 200 kg DBO/hab.dia)

$$\text{Relação (Comprimento/largura)} = 2,5$$

$$\text{Coeficiente de remoção de DBO (K)} = 0,3 \text{ dia}^{-1}$$

$$\text{Coeficiente de temperatura } (\theta) = 1,05$$

Concentração de sólidos suspensos no efluente = 80 mg/L

Valor de DBO de 1 mg SS/L = 0,35 mg/L

Carga per capita de DBO = 54 g DBO/ hab. dia.

Sequência de cálculos do dimensionamento:

Cálculo da carga da carga afluente DBO:

Carga = concentração x vazão → 16,34 kg/dia. (Equação 1)

Correção de K para temperatura (T) de 28°C:

$K_T = K_{28} \times \theta^{T-20} = 0,443$ (Equação 2)

Estimativa da DBO particulada efluente:

DBO part = valor da DBO de 1 mg/L de SS x concentração de SS = 28 mg/L (Equação 3)

Cálculo do volume da Lagoa Facultativa:

Volume = TDH x Vazão = 250 m³ (Equação 4)

Cálculo da área requerida da lagoa:

Área = volume / profundidade = 125 m² (Equação 5)

Estimativa da DBO solúvel efluente (S) (saída da lagoa):

$S = S_o / (1 + (K \times TDH)) = 142 \text{ mg/L}$ (Equação 6)

DBO total efluente:

DBO total efluente = DBO solúvel efluente + DBO particulada = 170 mg/L (Equação 7)

Dimensões da Lagoa (Largura e Comprimento)

Área = comprimento (L) x largura (B) → $A = (2,5 B) \times B$ (Equação 8)

Largura = 7 metros; Comprimento = 18 metros.

Eficiência da Remoção da DBO:

Eficiência = $(S_o - S) / S_o = 95\%$ (Equação 9)

Acumulação do lodo na lagoa facultativa

Carga de DBO = concentração x vazão = 16338 g DBO /dia (Equação 10)

Equivalente Populacional (EP):

EP = carga DBO afluente / carga per capita = 303 habitantes (Equação 11)

Acumulação Anual de lodo na lagoa:

Acumulação Anual = 0,05 m³/hab x EP = 15,15 m³ / ano (Equação 12)

Espessura de lodo em 1 ano de uso da lagoa:

$$\text{Espessura} = \text{acumulação anual} / \text{área requerida} = 12,12 \text{ cm} \quad (\text{Equação 13})$$

Posteriormente, foi verificado como sistema de tratamento, para uma temperatura de 10°C e uma vazão de 1 m³/s para os meses de temperaturas baixas, se comportaria em relação à eficiência de remoção de DBO.

Carga da carga afluente de DBO (Equação 1) = 3.268 kg/dia

Tempo de detenção resultante = 250 dias

Correção do coeficiente K para temperatura de 10°C (Equação 2) = 0,184

Estimativa da DBO solúvel efluente (Equação 6) = 70 mg/L

DBO total efluente (final da lagoa facultativa) (Equação 7) = 98 mg/L

Eficiência da Remoção da DBO nos meses frios (Equação 9) = 98%

Segundo a resolução estadual CONSEMA nº 128, o limite de DBO, para sistema com vazão inferior a 20 m³d⁻¹ é de 180 mg L⁻¹, estando novamente todas as amostras com concentração superior ao máximo permitido pela legislação.

Conforme a resolução estadual CONSEMA nº 128, o lançamento de efluentes, com vazão inferior a 100 m³ d⁻¹, em águas superficiais deve respeitar o limite de 4 mg L⁻¹ para fósforo e de 20 mg L⁻¹ para NTK ou promover eficiência de remoção superior a 75% desses nutrientes. Dessa forma, se faz necessária redução de, aproximadamente, 40% de remoção na lagoa de estabilização.

Na literatura, diferentes autores citam inúmeros reatores biológicos (filtro anaeróbio, leito fluidificado, UASB) até mesmo processos de eletrocoagulação e processos oxidativos avançados para tratamento de efluentes de indústria de sorvetes (Borja e Banks, 1994; Hawkes et al. 1995; Torres-Sánchez et al. 2014). No entanto, em decorrência da disponibilidade de área, custo mais baixo de manutenção, temperatura adequada em grande parte do ano, a concepção de lagoa facultativa foi escolhida para concepção do sistema de tratamento.

CONCLUSÃO

As indústrias de laticínios apresentam elevada produção de efluente, o qual possui altas cargas orgânica e de nutriente, que se lançado no corpo hídrico, torna-se um elemento com elevado potencial poluidor.

A importância da caracterização do efluente para o diagnóstico da água residuária a ser tratada, a fim de verificar a sua qualidade. E dessa forma, facilitar um adequado dimensionamento e operação do sistema de tratamento para reduzir o potencial poluidor do efluente de indústria de sorvetes e que atenda aos limites estabelecidos pela legislação estadual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, M.; TARIQ, M.; SHAFIQ, T.. Temporal Evaluation of Effluent Treatment Plant (ETP) and Treatment of Sludge produced by ETP. Journal of Chemistry Society Pakistan. v. 29, n. 6, p. 611 - 616, 2007.
2. ANDRADE, L. H. Tratamento de Efluente de Indústria de Laticínios por duas configurações de Biorreator com Membranas e Nanofiltração visando o Reúso. Programa de pós-graduação em saneamento. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 2011. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/987M.PDF>>. Acessado em: 10 abr. 2014.

3. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21. ed. Washington: APHA, 2005.
4. AZZOLINI, J. C.; FABRO, L. F. Monitoramento da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio da região Meio Oeste de Santa Catarina. *Unoesc & Ciência - ACET*, Joaçaba, v.4, n.1, p.43 - 60, 2013.
5. BORJA, R.; BANKS, C. J. Kinetics of an upflow anaerobic sludge blanket reactor treating ice-cream wastewater. *Environmental Technology*, v. 15, p. 219-232, 1994.
6. BORJA, R.; BANKS, C. J. Response of an anaerobic fluidized bed reactor treating ice-cream wastewater to organic, hydraulic, temperature and pH shocks. *Journal Biotechnology*. v. 39, p. 251-259. 1995.
7. BRIÃO, V. B. Estudo de prevenção à poluição em uma indústria de laticínios. Universidade Estadual de Maringá, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/II-018.pdf>>. Acessado em: 10 abr. 2014.
8. CAMPOS, J. R. (coordenador). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. PROSAB/ FINEP, Rio de Janeiro, 1999.
9. CICHELO, G. C. V.; RIBEIRO, R.; TOMMASO, G. Caracterização e Cinética do Tratamento Anaeróbio de Efluentes de Laticínios. Disponível em: <http://revista.unopar.br/biologicaesaude/revista/Biologicas/getArtigo?codigo=00001229>. Acessado em: 04 mai. 2014.
10. CETESB. Guia técnico ambiental de produtos lácteos - SÉRIE P+L. Governo do estado de São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/ddocumentos/laticinio.pdf>. Acessado em: 04 mai. 2014.
11. HAWKES, F. R.; DONNELLY, T.; ANDERSON, G. K.. Comparative performance of anaerobic digesters operating on ice-cream wastewater. *Water Research*. v. 29, p. 525-533, 1995.
12. MACHADO, R. M. G.; FREIRE, V. H.; SILVA, P. C.; FIGUERÊDO, D. V.; FERREIRA, P. E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. 1 ed. Belo Horizonte: Segrac, 2002, 223 p.
13. MATOS, A.T. Tratamento de resíduos agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Universidade Federal de Viçosa. 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAYNoAL/tratamento-residuos-agroindustriais>>. Acessado em: 04 mai. 2014.
14. MOREIRA, A. C. F. Projeto experimentalista para tratamento sistemas de tratamento de águas residuárias provenientes de indústria de Laticínios Modelo experimental aplicado à indústria de laticínios. Tese de Doutorado. UNICAMP, Campinas – SP. 2007. Disponível em: <<http://starlaticinios.blogspot.com/>>. Acessado em: 04 mai. 2014.
15. NIRENBERG, L. P.; FERREIRA, O. M. Tratamento de águas residuárias de indústria de Laticínios: eficiência e análise de modelos matemáticos Do projeto da Nestlé. Universidade Católica de Goiás – Departamento de Engenharia – Engenharia Ambiental. Disponível em: <<http://www.pucgoias.edu.br/>>. Acessado em: 04 mai. 2014.
16. PIVELI, D. R. P.; KATO, M. T. Qualidade da água e poluição: aspectos físicos-químicos. São Paulo: ABES, 2005.
17. QASIM, W.; MANE, A. V.. Characterization and treatment of selected food industrial effluents by coagulation and adsorption techniques. *Water Resources and Industry*, v. 4, p. 1 -12. 2013.
18. TORRES-SÁNCHEZ, A. L.; LÓPEZ-CERVERA, S. J.; ROSA, C.; MALDONADO-VEGA, M.; MALDONADO-SANTOYO, M.; PERALTA-HERNÁNDEZ, J. M. Eletrocoagulation process coupled with advanced oxidation techniques to treatment of dairy industry wastewater. *International Journal of Electrochemical Science*. v. 9, p. 6103-6112. 2014.