

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

DIEGO BORGES TABELINI

**EFLUENTE DE LATICÍNIOS MINEIROS: AVALIAÇÃO DE SUAS
CARACTERÍSTICAS, TRATAMENTO E DO SEU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO**

Alfenas/MG

2023

DIEGO BORGES TABELINI

**EFLUENTE DE LATICÍNIOS MINEIROS: AVALIAÇÃO DE SUAS
CARACTERÍSTICAS, TRATAMENTO E DO SEU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biotecnologia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Multidisciplinar.

Orientador: Prof. Dr. André Aguiar Mendes

Alfenas/MG

2023

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Central

Tabelini, Diego Borges.

Efluente de laticínios mineiros: avaliação de suas características, tratamento e do seu potencial biotecnológico / Diego Borges Tabelini. - Alfenas, MG, 2023.

66 f. : il. -

Orientador(a): André Aguiar Mendes.

Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2023.

Bibliografia.

1. Indústria de Laticínios. 2. Tratamento de Água Residuária Industrial. 3. Legislação Ambiental. 4. Reuso. 5. Tratamento Biológico de Águas Residuárias. I. Mendes, André Aguiar , orient. II. Título.

DIEGO BORGES TABELINI**EFLUENTE DE LATICÍNIOS MINEIROS: AVALIAÇÃO DE SUAS CARACTERÍSTICAS, TRATAMENTO E DO SEU POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO**

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Biotecnologia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Biotecnologia.

Aprovado em: 31 de março de 2023

Prof. Dr. André Aguiar Mendes - Presidente e Orientador
Instituição: Universidade Federal de Itajubá

Prof. Dr. Marcelo Chuei Matsudo
Instituição: Universidade Federal do ABC

Profa. Dra. Joelise de Alencar Figueira Angelotti
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Joelise de Alencar Figueira Angelotti, Professor do Magistério Superior**, em 31/03/2023, às 15:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Aguiar Mendes, Usuário Externo**, em 31/03/2023, às 15:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Chuei Matsudo, Usuário Externo**, em 31/03/2023, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0949671** e o código CRC **6A485160**.

Dedico este trabalho ao meu filho Henrique, que é a razão do meu viver, bem como aos meus pais, Carlos Henrique Tabelini e Josiane Cristina Borges Tabelini, por todo amor, apoio, dedicação e incentivo durante todos esses anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me capacitar e fortalecer para a realização deste sonho.

À minha família, por todo apoio e incentivo durante todos esses anos, em especial ao meu irmão, Carlos Henrique Borges Tabelini, que me apresentou o programa e sempre me auxiliou nessa caminhada.

À Universidade Federal de Alfenas, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia – PPGBIOTEC, por ofertar a oportunidade e infraestrutura necessária para a realização desta pesquisa.

Ao meu orientador André Aguiar Mendes, por todo apoio, pela paciência, orientação e aprendizado que levarei para além da vida acadêmica.

Ao Juan Pablo Pereira Lima da Universidade Federal de Itajubá e ao Alisson Carraro Borges da Universidade Federal de Viçosa, pelo forte auxílio na execução do trabalho.

Ao corpo docente, pelos ensinamentos que muito contribuíram para a execução deste trabalho.

À Banca examinadora, pelo aceite e por desprender parte do seu tempo para participar desse momento tão importante.

Aos colegas discentes do Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, que sempre foram auxiliares na minha formação, em especial ao meu amigo Miriel Bonadiman Zanol.

Agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) por todo apoio à pesquisa e ao desenvolvimento do conhecimento científico.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Financiamento 001.

RESUMO

A indústria de laticínios tem grande importância econômica para o estado de Minas Gerais, o maior produtor brasileiro de leite e seus derivados. Em função de suas atividades esse setor gera elevadas quantidades de efluente. Agências reguladoras ambientais não permitem que tal efluente seja descartado sem um tratamento prévio e efetivo. Esse trabalho teve como objetivo avaliar as características de efluentes de laticínios, brutos e tratados, e indicar os principais tratamentos adotados pelas indústrias desse setor do estado de Minas Gerais. Foi verificado para efluentes brutos uma elevada concentração de matéria orgânica, sendo de até 61.000 mg.L⁻¹ para DQO e 20.000 mg.L⁻¹ para DBO₅. Altas concentrações de óleos e gorduras, além de nitrogênio e fósforo foram também reportadas. Mais de 60% das amostras de efluentes brutos apresentaram razão DBO₅/DQO acima de 0,4, constatando uma alta biodegradabilidade. Em geral, os efluentes tratados estiveram de acordo com os padrões de descarte, apresentando remoções superiores a 70% e 75% para DQO e DBO₅, respectivamente. Foram verificadas que todas as indústrias reportadas fazem uso de tratamentos biológicos, majoritariamente lagoas anaeróbias e/ou aeradas. Em relação aos tratamentos avaliados em escala de bancada, biorreator de membrana e flotação com ozônio foram os mais efetivos, removendo mais de 80% da DBO₅. Foram reportadas pesquisas utilizando efluentes de laticínio mineiro tratados biotecnologicamente buscando obter produtos de valor agregado, principalmente microalgas, para a obtenção de alimentos e potencial de produção de biodiesel.

Palavras-chave: indústria de laticínios; tratamento de água residuária industrial; legislação ambiental; reúso; tratamento biológico de águas residuárias.

ABSTRACT

The dairy industry has great economic importance for the state of Minas Gerais, the largest Brazilian producer of milk and its derivatives. Due to its activities, this sector generates high amounts of effluent. Environmental regulatory agencies do not allow such effluent to be disposed without prior and effective treatment. This study aimed to evaluate the characteristics of effluents from dairy products, both raw and treated, and to indicate the main treatments adopted by industries in this sector in the state of Minas Gerais. A high concentration of organic matter was found for raw effluents, up to 61,000 mg.L⁻¹ for COD and 20,000 mg.L⁻¹ for BOD₅. High concentrations of oils and fats, in addition to nitrogen and phosphorus, were also reported. More than 60% of the raw effluent samples showed a BOD₅/COD ratio above 0.4, demonstrating high biodegradability. In general, the treated effluents were in accordance with the disposal standards, showing removals above 70% and 75% for COD and BOD₅, respectively. It was verified that all reported industries apply biological treatments, mostly anaerobic and/or aerated lagoons. Regarding the treatments evaluated in bench scale, membrane bioreactor and ozone flotation were the most effective, removing more than 80% of BOD₅. Research has been reported using biotechnologically treated dairy effluents from Minas Gerais seeking to obtain value-added products, mainly microalgae, to obtain food and potential for biodiesel production.

Keywords: dairy industry; industrial wastewater treatment; environmental legislation; reuse; biological wastewater treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Derivados lácteos comumente produzidos e comercializados no Brasil.....	11
Figura 2 - Alguns derivados do leite e do soro e as principais fontes geradoras de águas residuárias (indicadas por setas em vermelho).....	12
Figura 3 - Correlação linear DQO × DBO ₅ para efluentes brutos de laticínios mineiros. Correlação com todos os dados (símbolos azuis e vermelhos); correlação com exclusão de duas amostras mais concentradas (símbolos azuis).....	27
Figura 4 - Relação DQO × DBO ₅ para efluentes primários de laticínios provenientes de indústrias mineiras.....	33
Figura 5 - Relação DQO x DBO ₅ para efluentes secundário de laticínios provenientes de indústrias mineiras.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.....	17
Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais.....	23
Tabela 3 - Proporções entre matéria orgânica e nutrientes para os efluentes brutos de laticínios mineiros.....	26
Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos de efluentes preliminares de laticínios de Minas Gerais.....	29
Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos de efluentes primários de laticínios de Minas Gerais.....	32
Tabela 6 - Proporções entre matéria orgânica e nutrientes para os efluentes primários de laticínios de Minas Gerais.....	33
Tabela 7 - Parâmetros físico-químicos de efluentes secundários de laticínios de Minas Gerais.....	35
Tabela 8 - Faixa e média de parâmetros para os dados de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.....	38
Tabela 9 - Faixa e média de parâmetros para os dados de efluentes secundários de laticínios de Minas Gerais.....	38
Tabela 10 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de laticínios para remediar seus efluentes.....	40
Tabela 11 - Características do efluente de laticínios tratados nas escalas de bancada e semi-piloto.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Políticas Ambientais
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
N	Nitrogênio
NT	Nitrogênio Total
NTU	Unidade de Turbidez Nefelométrica
NKT	Nitrogênio Kjeldahl Total
O&G	Óleos e Gorduras
P	Fosforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PHA	Polihidroxicanoato
FT	Fosforo Total
SEMAD	Secretaria de Estado de Meios Ambiente de Minas Gerais
SSed	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
3HV	Poli-3-hidroxivalerato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	METODOLOGIA.....	15
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4	TRATAMENTOS ALTERNATIVOS PARA EFLUENTES DE LATICÍNIOS.....	44
5	PRODUTOS BIOTECNOLÓGICOS.....	49
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52

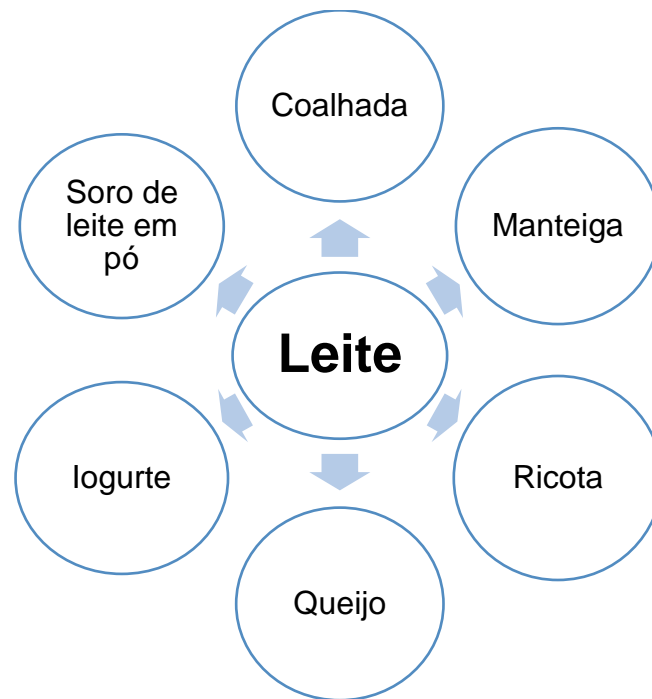
1 INTRODUÇÃO

O setor de laticínios apresenta papel importante na economia brasileira. Atualmente, o Brasil é o quinto maior produtor de laticínios do mundo (EMBRAPA, 2022) e possui capacidade para se tornar um dos grandes exportadores, principalmente devido às disponibilidades de água e terra para pastagem, atreladas a uma produção de baixo custo (FGV, 2018). Em 2020, o agronegócio leiteiro produziu 25,6 bilhões de litros de leite e empregou mais de 2,6 milhões de pessoas em mais de 1,2 milhão de propriedades de pecuária do leite e em 4 mil empresas de laticínios em todo o Brasil. Esses dados mostram como o leite se configura um produto muito importante da agropecuária brasileira (MAPA, 2021).

Minas Gerais é o estado que mais produz leite, 6,5 bilhões de litros em 2020, equivalendo a 27,1% da produção nacional. Comparado ao ano de 2019, o estado apresentou um aumento de 224 milhões de litros produzidos. Minas Gerais também possui a maior quantidade de indústrias licenciadas do ramo, acima de 300, com uma média de processamento diário de 100.000 L de leite (EMBRAPA, 2022; MAPA, 2021).

As etapas de processamento do leite consistem do recebimento, estocagem, análises físico-químicas, filtração, clarificação, padronização, envasamento, armazenamento e refrigeração. Para a produção de derivados há tratamento térmico do leite desnatado e do creme obtidos previamente após a padronização (BURKE *et al.*, 2018). A Figura 1 mostra alguns dos principais derivados do leite comercializados no Brasil. Ao produzir queijos, o sobrenadante resultante da coagulação da caseína e separação da massa proteica é denominado soro. Cerca de 90% do volume de leite utilizado na produção de queijo é convertido em soro (BARAK; MUDGIL, 2019). Este subproduto ainda contém compostos orgânicos e nutrientes do leite, e ao ser lançado no ambiente sem algum tipo de tratamento poderá impactar negativamente (BURKE *et al.*, 2018). Em muitas indústrias o soro é reaproveitado para produzir bebidas lácteas, queijo cottage, ricota, lactose, concentrado proteico e concentrado nutricional para alimentação de animais (BURKE *et al.*, 2018; MUDGIL; BARAK, 2019).

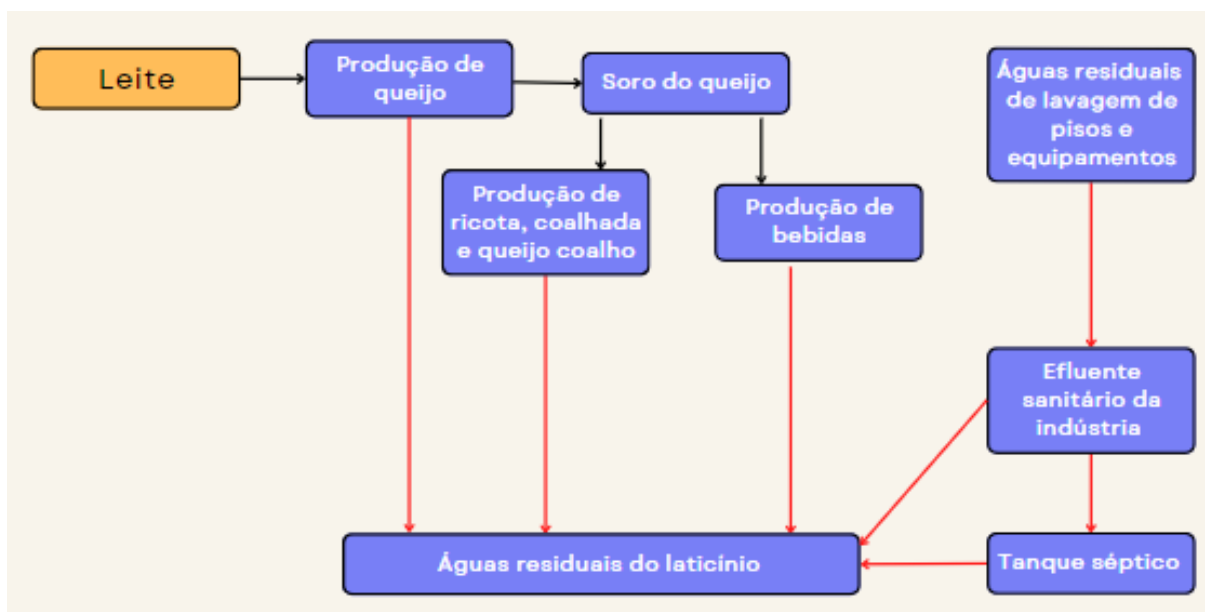
Figura 1 - Derivados lácteos comumente produzidos e comercializados no Brasil.



Fonte: Autor (2023).

Devido ao elevado volume de produção industrial desse setor, o tratamento de seus resíduos se torna necessário (JOSHIBA *et al.*, 2019). Geralmente, 1 a 6 litros de efluente são gerados para cada litro de leite processado (AHMAD *et al.*, 2019). A Figura 2 mostra algumas das etapas geradoras de águas residuárias em uma indústria desse setor. A composição dos efluentes de laticínios difere de acordo com os produtos fabricados. Por exemplo, efluentes do processo de fabricação do queijo possuem uma alta quantidade de carboidratos e proteínas, enquanto efluentes da produção de manteiga possuem mais óleos e graxas (JOSHIBA *et al.*, 2019). Em geral, efluentes de laticínios apresentam altas concentrações de matéria orgânica, óleos e graxas, sólidos suspensos, fósforo e nitrogênio (AHMAD *et al.*, 2019). Os poluentes orgânicos são majoritariamente biodegradados em corpos hídricos receptores, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido, além de criar condições para eutrofização devido aos nutrientes. Esses efeitos podem comprometer a sobrevivência de peixes e outros organismos aeróbios. Além disso, o corpo hídrico receptor torna-se criadouro de insetos que podem transmitir doenças como malária, chikungunya e dengue (JINDAL *et al.*, 2018).

Figura 2 - Alguns derivados do leite e do soro e as principais fontes geradoras de águas residuárias (indicadas por setas em vermelho).



Fonte: Autor (2023).

O tratamento de efluente de laticínios normalmente inclui processos físicos para remoção de sólidos suspensos e material graxo, seguidos de processos biológicos para remoção de matéria orgânica biodegradável. Embora eles sejam responsáveis pela maior remoção de poluentes, os processos biológicos têm como desvantagens uma elevada produção de espuma, além de uma baixa sedimentabilidade do lodo formado, baixa resistência a choques de carga, e dificuldades na remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e lipídeos (JOSHIBA *et al.*, 2019; SLAVOV, 2017). A escolha das etapas a serem realizadas no tratamento leva em conta as características do efluente, o custo envolvido e os padrões de descarte.

No Brasil, o tratamento de efluentes líquidos deve atender aos padrões de descarte estabelecidos na Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2011). Alguns estados brasileiros possuem legislações próprias e muitas delas mais restritas, como é o estado de Minas Gerais (MORAIS; SANTOS, 2019). Para esse estado o tratamento de esgoto e efluentes industriais deve atender a Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH)

(MINAS GERAIS, 2008). Alguns dos principais parâmetros de qualidade de águas residuárias legislados são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sedimentáveis (SSed), pH, óleos e graxas (O&G), temperatura e nutrientes (N e P). A DBO indica a concentração de matéria orgânica biodegradável presente no efluente, medida pela quantidade de oxigênio requerida para oxidar a matéria orgânica mediante processos bioquímicos aeróbios por 5 dias (DBO_5). A DQO indica a concentração de matéria orgânica biodegradável e não-biodegradável por meio de uma análise mais rápida, em menos de 3 h (VON SPERLING, 2014). Com base nos dois parâmetros citados anteriormente, é possível avaliar a biodegradabilidade de efluentes por meio da razão DBO_5/DQO . Valores acima de 0,4 indicam que um efluente pode ser tratado biologicamente, pois no mínimo 40% de sua matéria orgânica é biodegradável (VON SPERLING, 2014). Além disso, é possível correlacionar esses dois parâmetros por meio de uma regressão linear como forma de estimar DBO_5 a partir da DQO, o qual é um parâmetro mais rápido e prático de ser analisado (BUDEIZ; AGUIAR, 2020).

A aplicação de microrganismos capazes de fermentar efluentes ricos em lactose pode resultar em uma grande diversidade de produtos biotecnológicos (PANESAR *et al.*, 2013). Por exemplo, o uso de *Acutodesmus dimorphus* no efluente primário de um laticínio apresentou uma redução de 90% no valor da DQO, e resultou na produção de biomassa que apresentou em sua composição 25% de lipídios, potencial base para produção de biodiesel, e 30% de carboidratos, potenciais precursores de etanol (CHOKSHI *et al.*, 2016). O biodiesel produzido a partir da água residuária dos laticínios biotratada por microrganismos acumuladores de lipídios, além do fato de reaproveitar um resíduo, é um combustível de ignição muito menos nocivo ao ambiente que os combustíveis fósseis (BHATIA *et al.*, 2018). Além disso, biocombustíveis produzidos a partir do efluente (por exemplo o biogás) podem ser usados como fonte energética na indústria, minimizando custos (CHANDRA *et al.*, 2018; KOTHARI *et al.*, 2012).

Leveduras como *Kluyveromyces marxianus*, se multiplicam com facilidade no efluente rico em carbono e são facilmente removidas devido ao seu tamanho superior aos das bactérias. Essas leveduras podem ser cultivadas nos efluentes de laticínios para a produção de proteína microbiana (*single cell protein*), que pode ser

comparada à proteína animal, devido à presença de aminoácidos essenciais (KASMI, 2018).

A indústria alimentícia faz uso de diversos ácidos orgânicos que podem ser obtidos a partir de efluente de laticínios biotratados. O ácido cítrico pode ser produzido a partir do soro do leite por *Aspergillus niger*, o ácido succínico por *Actinobacillus succinogenes*, enquanto o ácido láctico pode ser produzido a partir do soro do iogurte, rico em lactose e glicose, por *Lactobacillus* (DE JESUS *et al.*, 2015).

Dessa forma, espera-se que este estudo possa contribuir com análises das características dos efluentes e propor diversos processos biotecnológicos para o tratamento dessas águas residuárias, segundo suas características físico-químicas, com intuito de se obter biocombustíveis, bioplásticos, *single cell protein*, ácidos orgânicos, polissacarídeos, biossurfactantes, entre outros e ainda atender às demandas ambientais.

Devido à significativa produção de laticínios no estado de Minas Gerais e a consequente geração de efluentes em função de suas atividades, este trabalho de revisão teve como objetivo levantar dados a respeito das características físico-químicas de efluentes brutos e tratados de indústrias desse ramo, e analisá-los frente aos padrões de lançamento estabelecidos por agências ambientais federal (BRASIL, 2011) e estadual (MINAS GERAIS, 2008). Buscou-se correlacionar linearmente alguns parâmetros de qualidade de água como forma de facilitar a caracterização desse efluente. Foram também abordados os tratamentos convencionalmente adotados nas indústrias mineiras, além de tratamentos alternativos avaliados em escala de bancada como forma de superar as limitações dos tratamentos convencionais e ainda avaliados possíveis produtos biotecnológicos obtidos a partir dos resíduos dos laticínios.

2 METODOLOGIA

O presente levantamento bibliográfico consistiu em pesquisar artigos publicados em periódicos, trabalhos completos apresentados em congressos, dissertações e teses que abordassem as características e/ou ao tratamento de efluentes gerados por indústrias mineiras de laticínios. Alguns dados foram adquiridos de pareceres técnicos da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (SEMAD). Efluentes de laticínios preparados em laboratório (sintéticos) foram desconsiderados. A partir de material científico, foram obtidos dados como técnicas, materiais utilizados no processo e possíveis produtos gerados pelo reaproveitamento das águas residuárias oriundas dos laticínios através de processos biotecnológicos. Foram consultadas publicações a partir de 2010 nas bases de dados científicos *Scopus*, *Google Scholar* e *Web of Science*.

Quando as fontes consultadas reportaram dados de caracterização de mais de uma amostra coletada em uma mesma empresa, todas as amostras foram utilizadas. Quando apenas os valores médios dos parâmetros de caracterização foram reportados, esses foram utilizados, exceto valores de pH, pois essa grandeza não é linear. Logo, não se deve calcular sua média. Todavia, valores máximos e mínimos de pH discriminados pelas fontes foram considerados aqui. Vale ressaltar que alguns autores se referiram ao mesmo efluente caracterizado em publicações diferentes, e cuidados foram tomados para que nenhuma amostra estivesse repetida quanto à sua caracterização. Parâmetros pouco reportados pelas fontes não foram inseridos em tabelas, mas muitos deles foram mencionados no texto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de caracterização de efluentes brutos. Em suma, mais de 25 fontes reportaram a caracterização de mais de 50 amostras de efluente brutos de indústrias mineiras de laticínios. Por serem provenientes da fabricação de diferentes derivados do leite, os efluentes apresentaram características bem distintas entre si. Foi mais comum encontrar nas fontes consultadas os dados de quantificação dos parâmetros DQO, DBO₅, nitrogênio total, fósforo, SST, O&G e turbidez, pois eles são mais comumente incluídos nas condicionantes de processos de licenciamento ambiental (MORAIS; SANTOS, 2019). Na Tabela 2 estão apresentados os principais padrões de descartes estabelecidos pelas legislações federal e do estado de Minas Gerais.

Em relação aos parâmetros de concentração de matéria orgânica, verificou-se que todas as amostras de efluente bruto apresentaram concentrações bem acima dos padrões de descarte, com valores de DQO e DBO₅ de até 61.000 e 20.000 mg.L⁻¹, respectivamente. Notou-se diferença nos valores desses parâmetros comparando empresas de diferentes portes. Por exemplo, Silva *et al.* (2018) reportaram um efluente bruto de uma empresa de laticínios de médio porte com DQO de até 14.000 mg.L⁻¹, em comparação a DQO de 3.000 mg.L⁻¹ de um efluente gerado por outra empresa de pequeno porte. Variação significativa de dados de DQO e DBO₅ foi encontrada até mesmo em efluentes de uma mesma empresa, conforme mostrado por Rabelo (2016).

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.

(continua)

Município	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ /DQO	NT (mg.L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	Surfactantes (mg.L ⁻¹)	Referência
Viçosa	2790	5143	0,54	89,5*	-	-	Matos <i>et al.</i> (2010)
Não informado	1914	4575	0,42	139	1530	-	Andrade (2011)
Viçosa	-	1727,3 - 4786,2	-	-	268 – 438	-	Valente <i>et al.</i> (2012)
Não informado	825	2388	0,34	-	-	-	De Abreu <i>et al.</i> (2013)
Viçosa	12080	24653	0,49	-	-	-	Matos <i>et al.</i> (2014)
Lavras	-	-	-	0,9	-	-	Silva <i>et al.</i> (2014)
Viçosa	-	356,1 – 6923,8	-	-	38,8–7240	-	Valente <i>et al.</i> (2014)
Uberaba	2114,5	5272	0,40	53,4	-	-	Carmo (2015)
	1238,1	2645,6	0,47	73,6	-	-	
	3780,4	7308,2	0,52	108,8	-	-	
Belo Horizonte	890	1965	0,45	-	-	3,9	Rodrigues <i>et al.</i> (2015)
Inconfidentes	8406,5	33289,4	-	-	-	-	Silva <i>et al.</i> (2015)
Viçosa	-	2060-5249	-	-	267-1000	-	Valente <i>et al.</i> (2015)
Lavras	-	9706	-	-	-	-	Batista (2016)
	-	8759	-	-	-	-	
	-	3711	-	-	-	-	
Lavras	1256	-	-	-	1348	-	Ferreira <i>et al.</i> (2016)
João Monlevade	1067,5	3698,1	0,29	-	445	-	Borges <i>et al.</i> (2019)

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.

(continuação)

Município	FT (mg.L ⁻¹)	ST (mg.L ⁻¹)	SST (mL.L ⁻¹)	SSed (mg.L ⁻¹)	O&G (mg.L ⁻¹)	pH	Referência
Viçosa	22,5	2407	702	-	-	-	Matos <i>et al.</i> (2010)
Não informado	15,6	3938	1050	3	-	-	Andrade (2011)
Viçosa	-	1780 - 2512	300 - 604	0,1 – 1	-	0,6 -10,4	Valente <i>et al.</i> (2012)
Não informado	-	2460	-	-	709	5,6	De Abreu <i>et al.</i> (2013)
Viçosa	-	-	-	-	-	-	Matos <i>et al.</i> (2014)
Lavras	0,05	-	-	-	-	6,0	Silva <i>et al.</i> (2014)
Viçosa	-	114–9298	9 – 8540	-	-	-	Valente <i>et al.</i> (2014)
Uberaba	-	-	232	-	442,4	7,2	Carmo (2015)
	-	-	60	-	80,6	5,5	
	-	-	262	-	87	6,6	
Belo Horizonte	-	-	531	4,8	74,2	-	Rodrigues <i>et al.</i> (2015)
Inconfidentes	-	-	-	-	-	-	Silva <i>et al.</i> (2015)
Viçosa	-	1965-3723	444 - 758	0,4-0,5	-	1 - 5,4	Valente <i>et al.</i> (2015)
Lavras	-	-	-	-	752	5,2	Batista (2016)
	-	-	-	-	1296	12	
	-	-	-	-	962	11,1	
Lavras	-	-	-	0,0	-	11	Ferreira <i>et al.</i> (2016)
João Monlevade	-	896	637	1,4	278,3	8,9	Borges <i>et al.</i> (2019)

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.

(continuação)

Município	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ /DQO	NT (mg.L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	Surfactantes (mg.L ⁻¹)	Referência
Paracatu	723	1333	0,54	-	-	73,6	Rabelo (2016)
	1686	4640	0,36	-	-	34	
	2564,5	4520	0,57	-	-	38	
	1455	3270	0,44	-	-	6	
	1686	4640	0,36	-	-	34	
	1085	4980	0,22	-	-	7,2	
	1178,2	2240	0,53	-	-	24,6	
	985,2	1290	0,76	-	-	18,4	
	1280	1700	0,75	-	-	51,6	
Lavras	2429	7176	0,34	84,8*	-	-	De Oliveira <i>et al.</i> (2019)
Rio Pomba	1935,6	6875,3	0,28	177,7*	887	-	Lopes <i>et al.</i> (2020)
	2979,8	6139,1	0,48	131,3*	844,7	-	
	1790,2	4860,3	0,37	71,8*	641,3	-	
	1498,3	5896,8	0,25	180,3*	750	-	
	1471,2	5703,6	0,26	60,1*	953,3	-	
	3200,8	9671	0,33	262,6*	1433	-	
	1711	4154,2	0,41	61,4*	534,7	-	
	2151,1	7945,9	0,27	168,6*	956,7	-	
	2712,2	4350,9	0,62	41,8*	31,4	-	
	2938,7	10469,3	0,28	278,3*	1426,6	-	
2913,3	5871,6	0,49	99,3*	927,7	-		

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.

(continuação)

Município	FT (mg.L ⁻¹)	ST (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	SSed (mL.L ⁻¹)	O&G (mg.L ⁻¹)	pH	Referência
Paracatu	-	-	1090	-	1795	-	Rabelo (2016)
	-	-	1030	-	14515	-	
	-	-	2814	-	9648,3	-	
	-	-	5952	-	9107,2	-	
	-	-	1030	-	14515	-	
	-	-	5715	-	4974	-	
	-	-	3046	-	1574,8	-	
	-	-	606	-	790,8	-	
Lavras	-	-	238	-	298	-	De Oliveira <i>et al.</i> (2019)
	16,1	-	-	-	2695	-	
Rio Pomba	20,1	-	-	-	523,3	-	Lopes <i>et al.</i> (2020)
	15,3	-	-	-	323,8	-	
	14,7	-	-	-	234,5	-	
	6,4	-	-	-	210	-	
	6,3	-	-	-	357	-	
	42,3	-	-	-	1255,5	-	
	17,8	-	-	-	297,4	-	
	7,1	-	-	-	463	-	
	0,4	-	-	-	107,4	-	
	40,6	-	-	-	897,2	-	
7,5	-	-	-	412,6	-		

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.

(continuação)

Município	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ /DQO	NT (mg.L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	Surfactantes (mg.L ⁻¹)	Referência
Rio Pomba	1848,3	5975,8	0,31	56,2*	497	-	Lopes <i>et al.</i> (2020)
	1683,2	4224,3	0,40	41,1*	324	-	
	2304,7	8811,9	0,26	269,2*	1032,3	-	
	7021,4	13624,5	0,52	422*	4478	-	
Ituiutuba	616,7	1284,8	0,48	-	-	22,5	Souza (2022)
Poços de Caldas	-	12014,8	-	-	778	-	De Araújo <i>et al.</i> (2017)
Matutina	3222,2	6641,4	0,48	-	-	0,64	SEMAD (2017)
Lavras	-	-	-	27,5	-	-	Santos <i>et al.</i> (2018)
Juiz de Fora	-	486	-	-	711	-	Alvim e Marques (2019)
Não informado	363	759,4	0,48	-	138	-	De Sousa <i>et al.</i> (2019)
Viçosa	6810	8876,4	0,77	64,4	3500	-	Pereira <i>et al.</i> (2020a; 2020b)
	2688	3938	0,68	92,4	602	-	
	4590	7653,8	0,60	154,0	498	-	
Bandeira do Sul	-	27690	-	-	-	-	Ferreira <i>et al.</i> (2021)
Viçosa	-	5046	-	-	2040	-	Valente <i>et al.</i> (2020)
Paracatu	433,4	2320	0,19	-	-	20,8	Rabelo (2016)
	947	1720	0,55	-	-	36,6	
	3650	6560	0,56	-	-	16	
Região da Bacia Rio Pomba	1544 – 19964	4823 - 61045	-	-	408 – 5700	-	Silva <i>et al.</i> (2018)
	1,4 – 16080	1,3 - 56201	-	-	3,7 - 8440	-	
	2013 - 8278	6569 - 25506	-	-	1157 - 3608	-	
	2149 – 2996	6458 – 8459	-	-	115 - 1056	-	
	4289 – 6202	8082 - 14050	-	-	959 - 2561	-	

Tabela 1 - Parâmetros físico-químicos de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.

(conclusão)

Município	FT (mg.L ⁻¹)	ST (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	SSed (mL.L ⁻¹)	O&G (mg.L ⁻¹)	pH	Referência
Rio Pomba	6,9	-	-	-	236,3	-	Lopes <i>et al.</i> (2020)
	7,3	-	-	-	117,3	-	
	67,8	-	-	-	674,4	-	
	65,4	-	-	-	974,4	-	
Ituiutuba	-	-	389,8	-	401,4	-	Souza (2022)
Poços de Caldas	4934,8	-	-	-	-	6,0	De Araújo <i>et al.</i> (2017)
Matutina	-	-	1483,3	10,0	309,6	-	SEMAD (2017)
Lavras	1,2	-	-	-	-	6,9	Santos <i>et al.</i> (2018)
Juiz de Fora	-	-	87,3	25	475,2	5,2	Alvim e Marques (2019)
Não informado	-	-	-	-	-	7,2	De Sousa <i>et al.</i> (2019)
Viçosa	30,4	-	2580	-	4296,7	7,5	Pereira <i>et al.</i> (2020a; 2020b)
	43,0	-	580	-	101	12,6	
	56,6	-	480	-	1201	6,0	
Bandeira do Sul	-	12900	-	-	-	4,4	Ferreira <i>et al.</i> (2021)
Viçosa	-	3717	1060	11	-	6,7	Valente <i>et al.</i> (2020)
Paracatu	-	-	517,1	-	492,3	-	Rabelo (2016)
	-	-	347,5	-	717	-	
	-	-	806,7	-	9087	-	
Região da Bacia Rio Pomba	11,7 - 456	-	-	-	-	3 - 11,8	Silva <i>et al.</i> (2018)
	0,1 - 1078	-	-	-	-	7,1 - 10,2	
	51 - 104	-	-	-	-	3,7 - 7,6	
	49 - 81	-	-	-	-	3,5 - 3,9	
	42 - 96	-	-	-	-	3,9 - 5,4	

Fonte: Autor (2023).

* = NKT

Tabela 2 - Padrões de lançamento de efluentes líquidos industriais.

Parâmetros	CONAMA 430/2011	COPAM/CERH-MG
pH	5,0 - 9,0	6,0 – 9,0
Temperatura (°C)	<40	<40
DBO ₅ (mg.O ₂ .L ⁻¹)	Remoção mínima de 60%	60 ou remoção mínima de 75%
DQO (mg.O ₂ .L ⁻¹)	-	180 ou remoção mínima de 70%
O&G (mg.L ⁻¹)	50	50
SST (mg.L ⁻¹)	-	100 (150 para efluente de lagoa de estabilização)
SSed (ml.L ⁻¹)	1	1
N-NH ₄ (mg.L ⁻¹)	20	20
Surfactantes (mg.L ⁻¹)	-	2

Fonte: Autor (2023).

O pH foi verificado em muitas amostras de efluente bruto, e alguns valores estiveram fora da faixa definida pelas legislações federal e estadual. É importante a manutenção do pH em torno de 7 para maior eficiência do tratamento biológico de efluentes, geralmente atribuído a bactérias (VON SPERLING, 2014) Fatores como o tipo de derivado lácteo fabricado e a utilização de produtos químicos para limpeza, afetam diretamente o pH do efluente, podendo variar entre 4 e 11 (SLAVOV, 2017). A temperatura foi reportada em apenas seis amostras, e esteve sempre abaixo do limite legislado. Considerando a turbidez, os valores variaram de 31,4 a 8440 NTU. Geralmente, os agregados de gordura do leite e coloides proteicos são os principais causadores da turbidez em efluentes de laticínios (AHMAD *et al.*, 2019)

Foi reportada a concentração de O&G para mais de 40 amostras, e todos os valores estiveram acima do limite legislado. Uma amostra continha aproximadamente 290 vezes o valor máximo permitido para lançamento. É importante a redução desses poluentes por meio de caixas de gordura e/ou flotores, pois eles prejudicam a transferência de oxigênio para o efluente, dificultando trocas gasosas nos tratamentos biológicos. Além disso, altas concentrações de O&G podem ocasionar entupimentos de tubulações e formação de espuma durante o tratamento, interferindo diretamente na eficiência do processo (MOHAMMADI *et al.*, 2020). Em corpos hídricos, O&G podem formar produtos tóxicos e recalcitrantes, produzir odores rançosos, além de cobrir animais e sufocá-

los por dificuldade de respiração (AHMAD *et al.*, 2019).

Em relação à presença de surfactantes, esse parâmetro foi reportado em poucas amostras, as quais apresentaram valores superiores ao limite legislado. Por exemplo, em uma das amostras reportada por Rabelo (2016) esse valor foi de até 36 vezes o máximo permitido. Tais poluentes são provenientes de produtos de limpeza para remoção de material graxo de pisos, tubulações, tanques e outros equipamentos (SLAVOV, 2017). Os surfactantes são resistentes à biodegradação e suas propriedades lipossolventes conferem efeito bactericida, prejudicando os processos biológicos de tratamento de efluentes e o corpo hídrico receptor (SLAVOV, 2017).

A concentração de nitrogênio amoniacal foi reportada apenas para três amostras, e os valores estiveram abaixo do máximo permitido. A presença de metais foi relatada apenas por De Araújo *et al.* (2017), os quais verificaram concentrações de ferro e zinco superiores aos padrões de descarte. Em relação à condutividade elétrica, verificou-se valores na faixa de 1,6 a 3574,0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Tal característica deve ser atribuída a sais residuais de fosfato e citrato que são usados como estabilizantes, e que são lançados junto ao efluente (LUCEY; HORNE, 2009). Todavia, não há valores máximos permitidos nas legislações ambientais referente a esse parâmetro.

Quanto à concentração de SST, apenas uma amostra de efluente bruto apresentou valor inferior ao limite legislado. Rabelo (2016) reportou uma amostra de efluente cuja concentração de SST é 38 vezes maior que o limite legislado. Quanto aos SSed, foram encontrados valores reportados em apenas sete amostras. Grande parte das amostras apresentou valor superior ao legislado. Geralmente esses sólidos são de origem proteica como restos de queijo, leite coagulado, requeijão e outras impurezas (terra ou areia) provenientes das etapas de lavagem de equipamentos (SLAVOV, 2017). Esses dados indicam que os sólidos suspensos necessitam ser removidos do efluente de indústrias de laticínios.

Considerando os dados de DQO e DBO_5 , o índice de biodegradabilidade (DBO_5/DQO) foi calculado para as amostras em que ambos os parâmetros foram quantificados. Segundo Sant'anna Jr. (2013) e VON SPERLING (2014) a razão (DBO_5/DQO) deve ser utilizada para a escolha do tipo de tratamento mais adequado. Razões superiores a 0,4 apontam o tratamento biológico como o mais adequado, e

quando esse valor se encontra entre 0,15 e 0,4, tanto o tratamento biológico quanto físico-químico são indicados. Para razões inferiores a 0,15, recomenda-se o tratamento físico-químico. Cerca de 40% das fontes verificadas apresentaram razão entre 0,15 e 0,40, enquanto para mais de 60% das amostras foi verificada uma alta biodegradabilidade, pois a razão foi acima de 0,4. Diante disso, efluente de laticínios pode ser tratado por processos biológicos, os quais são muito eficientes e de baixo custo (VON SPERLING, 2014). Processos biológicos aeróbios são mais indicados para efluentes com até 1.000 mg.L^{-1} de DQO, pois a solubilidade do oxigênio por meio da aeração artificial é prejudicada quando se tem altas concentrações de soluto (VON SPERLING, 2014). Apenas uma das amostras de efluente bruto de laticínios apresentou DQO inferior a esse valor. No entanto, é importante ressaltar que os tratamentos preliminares e primários devem reduzir boa parte da DQO dos efluentes prévio aos tratamentos biológicos, propiciando um ambiente mais adequado para microrganismos aeróbios (JOSHIBA *et al.*, 2019).

As concentrações de nitrogênio e fósforo podem ser usadas para avaliar se processos aeróbios ou anaeróbios são mais adequados para remediar tais efluentes. Nesse levantamento, foram reportados 31 dados para nitrogênio, sendo que 58% deles quantificou nitrogênio Kjeldahl total (NKT). Embora a legislação federal estabeleça uma concentração máxima permitida apenas para a forma amoniacal do nitrogênio, o órgão ambiental competente poderá definir padrões de descarte para o fósforo ao ser lançado em corpos receptores com registro histórico de manifestação de cianobactérias em trechos que ocorre a captação de água para abastecimento público (BRASIL, 2011). Para mais da metade das amostras foi quantificado o fósforo, variando entre 0,05 e $4.934,8 \text{ mg.L}^{-1}$.

De acordo com Sant'anna Jr. (2013), uma proporção ideal entre matéria orgânica e nutrientes em efluentes para o metabolismo microbiano aeróbio é $\text{DBO}_5:\text{N}:\text{P}$ igual a 100:5:1, enquanto para o metabolismo anaeróbio é $\text{DQO}:\text{N}:\text{P}$ igual a 250:6,5:1. Foi possível calcular essas proporções para algumas amostras, e os resultados estão mostrados na Tabela 3. Aproximadamente 35% delas atenderam ambas as proporções. Todavia, em mais da metade delas os teores de fósforo e nitrogênio estiveram abaixo do mínimo requerido, o que pode comprometer uma boa eficiência do tratamento biológico. É bastante comum suplementar efluentes muito pobres em nutrientes, como aqueles provenientes das indústrias de celulose e papel

(RAMOS *et al.*, 2022) e do setor têxtil para serem tratados biologicamente (RAMOS *et al.*, 2021).

Em suma, embora seja mais coerente avaliar as características de efluente tratado frente às legislações, fica bem evidente que efluentes brutos de laticínios necessitam de tratamentos efetivos para reduzir sua alta concentração de poluentes.

Tabela 3 - Proporções entre matéria orgânica e nutrientes para os efluentes brutos de laticínios mineiros.

DBO ₅ :N:P	DQO:N:P	Referência
100:3,2*:0,8	250:4,4*:1,1	Matos <i>et al.</i> (2010)
100:7,3:0,8	250;7,6:0,9	Andrade (2011)
100:2,5:-	250:2,5:-	Carmo (2015)
100:5,9:-	250:7,0:-	
100:2,9:-	250:3,7:-	
100:1,6*:0,7	250:2,7*:1,7	De Mendonça <i>et al.</i> (2017)
100:3,5*:0,7	250:3,0*:0,6	De Oliveira <i>et al.</i> (2019)
100:9,2*:1,0	250:6,5*:0,7	Lopes <i>et al.</i> (2020)
100:4,4*:0,5	250:5,3*:0,6	
100:4,0*:0,8	250:3,7*:0,8	
100:12,0*:4	250:7,6*:0,3	
100:4,1*:0,4	250:2,6*:0,3	
100:8,2*:1,3	250:6,8*:1,1	
100:3,6*:1,0	250:3,7*:1,1	
100:7,8*:0,3	250:5,3*:0,2	
100:1,5*:0,01	250:2,4*:0,02	
100:9,5*:1,4	250:6,6*:1,0	
100:3,4*:0,3	250:4,2*:0,3	
100:3,0*:0,4	250:2,4*:0,3	
100:2,4*:0,4	250:2,4*:0,4	
100:11,7*:2,9	250:7,6*:1,9	
100:6,0*:0,9	250:7,7*:1,2	

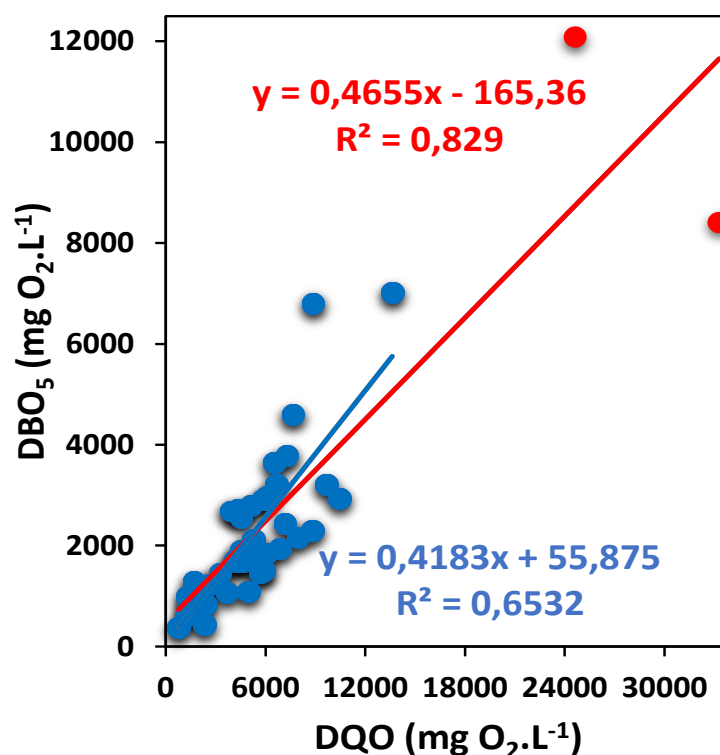
Fonte: Autor (2023).

*= NKT

Como forma de facilitar a caracterização de efluentes de laticínios e monitorar o tratamento, tentativas de correlacionar linearmente alguns parâmetros físico-químicos foram avaliados. A literatura tem mostrado fortes correlações lineares entre DBO₅ × DQO para efluentes de processamento da mandioca (COSTA *et al.*, 2022) e

esgoto bruto (BUDEIZ; AGUIAR, 2020). Foi verificada nessa revisão uma forte correlação a partir de mais de 40 dados de DBO₅ e DQO, conforme apresentada na Figura 3. A maioria das amostras apresentou valores inferiores a 4.000 mg.L⁻¹ de DBO₅ e 10.000 mg.L⁻¹ de DQO. No entanto, duas amostras mais concentradas tenderam a forçar tal correlação. Ao serem excluídas dessa análise, o valor de R² caiu de 0,8290 para 0,6532, um valor considerado moderado (SANTOS, 2007). Para Serajuddin *et al.* (2018), correlações lineares com valores de R² acima de 0,45 podem ser consideradas razoáveis, embora Baki *et al.* (2019) reforçam que estas poderiam ser utilizadas apenas como avaliações rápidas.

Figura 3 - Correlação linear DQO × DBO₅ para efluentes brutos de laticínios mineiros. Correlação com todos os dados (símbolos azuis e vermelhos); correlação com a exclusão de duas amostras mais concentradas (símbolos azuis).



Fonte: Autor (2023).

Nesse levantamento foram também encontradas caracterizações de efluentes de laticínios coletados após o tratamento preliminar. O tratamento preliminar tem

como objetivo remover sólidos grosseiros e O&G presentes nesse efluente (JINDAL *et al.*, 2019). Em geral, as amostras apresentaram elevada concentração de matéria orgânica, SST e nutrientes, os quais estão bem acima dos padrões legislados. Parâmetros como turbidez, surfactantes, SSed e O&G não foram reportados pelas fontes. A média da razão DBO_5/DQO foi de 0,48, indicando alta biodegradabilidade para efluentes preliminares. Além disso, verificaram-se amostras com valores de DQO e DBO_5 superiores a alguns efluentes brutos.

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos de efluentes preliminares de laticínios de Minas Gerais.

(continua)

Município	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ / DQO	NT (mg.L ⁻¹)	FT (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	Referência
Juiz de Fora	1675	2456	0,68	26,5*	16,8	-	Mendonça <i>et al.</i> (2017)
	803	1650,0	0,49	-	-	685,0	
	808	1570,0	0,51	-	-	378,0	
	731,3	1780,5	0,41	-	-	451,5	
	1415,3	3280,0	0,43	-	-	1418,5	
	790	2293,5	0,34	-	-	470,0	
	2226,0	4606,0	0,48	-	-	412,5	
	2297,3	5900,0	0,39	-	-	2171,0	
	1167,3	2940,0	0,40	-	-	359,5	
	1299,7	2998,5	0,43	-	-	943,0	
	2994,0	4044,0	0,74	-	-	994,0	
	1584,0	4488,0	0,35	-	-	1949,5	
Juiz de Fora	2836,5	3293,0	0,86	-	-	935,0	Mendonça <i>et al.</i> (2022)
	994,0	3250,0	0,31	-	-	400,5	
	2005,0	3400,0	0,59	-	-	425,0	
	2250,0	2686,0	0,84	-	-	578,0	
	679,5	1100,0	0,62	-	-	710,5	
	869,0	1816,5	0,48	-	-	935,0	
	1327,5	2220,0	0,60	-	-	390,0	
	1325,0	2400,0	0,55	-	-	982,0	
	1050,0	3008,0	0,35	-	-	455,0	
	1500,0	6200,0	0,24	-	-	381,0	
	856,0	3941,0	0,22	-	-	550,0	
	660,0	2894,5	0,23	-	-	881,0	

Tabela 4 - Parâmetros físico-químicos de efluentes preliminares de laticínios de Minas Gerais.

(conclusão)

Município	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ / DQO	NT (mg.L ⁻¹)	FT (mg.L ⁻¹)	SST (mg.L ⁻¹)	Referência
Juiz de Fora	-	-	-	25,8*	22,0	-	Mendonça <i>et al.</i> (2012)
	-	-	-	25,1*	16,6	-	
	-	-	-	19,1*	16,2	-	
	-	-	-	43,1*	21,0	-	
	-	-	-	35,0*	8,0	-	
	-	-	-	29,1*	10,5	-	
	-	-	-	21,0*	15,0	-	

Fonte: Autor (2023).

* = NKT

Dados de caracterização de efluentes coletados após tratamento primário (geralmente flotação) também foram reportados em algumas das fontes consultadas, os quais estão mostrados na Tabela 5 e suas proporções entre matéria orgânica e nutrientes são dispostas na Tabela 6. Parâmetros legislados como SST e SSed não foram reportados pelas fontes. De qualquer forma, todos os parâmetros avaliados para efluentes primários também apresentaram valores superiores aos padrões de descarte. Por exemplo, Alves *et al.* (2019) reportaram uma amostra de efluente primário de laticínio com DQO superior a 40.000 mg.L^{-1} , valor esse bastante superior a muitas amostras de efluente bruto. A biodegradabilidade da maioria dessas amostras também foi acima de 0,4. Foi também possível analisar as proporções de matéria orgânica e nutrientes de efluentes primários, os quais são posteriormente submetidos a tratamentos biológicos convencionais. Todavia, poucas amostras apresentaram proporções mínimas para serem tratadas biologicamente, tanto por processos aeróbios quanto anaeróbios.

Embora sejam poucos, ao tentar correlacionar os dados de DBO_5 e DQO para efluentes primários, foi verificada uma forte correlação linear (Figura 4).

Tabela 5 - Parâmetros físico-químicos de efluentes primários de laticínios de Minas Gerais.

Localização	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ / DQO	NT (mg.L ⁻¹)	N-NH ₄ (mg.L ⁻¹)	FT (mg.L ⁻¹)	pH	Referência
Não informado	1954,0	3963,0	0,49	134	9,7	10,5	7,7	De Andrade (2011)
Não informado	2303	4448	0,52	74,7	4,6	27,5	-	Andrade <i>et al.</i> (2013)
	2723	4175	0,65	115,5	9,3	20,4	-	
Não informado	1365	2835	0,48	43	35	29	-	Andrade <i>et al.</i> (2014a)
	1120	2953	0,38	50	43	36	-	
Não informado	-	3274	-	115	-	-	-	Andrade <i>et al.</i> (2015)
Não informado	1513	2607	0,58	-	50	33	-	De Andrade <i>et al.</i> (2016)
	819	1650	0,50	-	53	45	-	
	1471	2648	0,56	-	40	24	-	
Bandeira do Sul	-	44162	-	-	-	-	-	Alves <i>et al.</i> (2019)
Juiz de Fora	574 - 4155	1899 - 11735	-	23,2*-168,4*	-	16 - 54	4,1 – 6,7	Moreira <i>et al.</i> (2021)
Não informado	3487	7045	0,49	-	-	-	7,5	Viana <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Autor (2023).

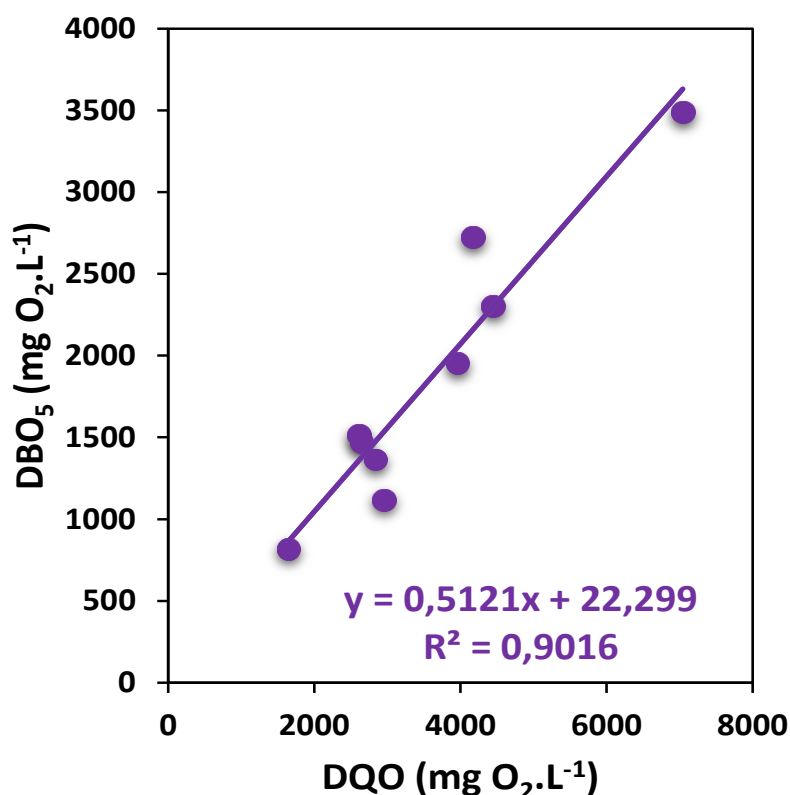
*-NKT

Tabela 6 - Proporções entre matéria orgânica e nutrientes para os efluentes primários de laticínios de Minas Gerais.

DBO ₅ :N:P	DQO:N:P	Referência
100:6,9:0,3	250:8,5:0,7	Andrade (2011)
100:3,2:0,6	250:4,2:1,5	Andrade <i>et al.</i> (2013)
100:4,2:0,5	250:6,9:1,2	
100:3,2:1,0	250:3,8:2,6	Andrade <i>et al.</i> (2014a)
100:4,5:1,2	250:4,2:3,0	
-	250:8,8:-	Andrade <i>et al.</i> (2015)
100:3,3:1,3	250:4,8:3,2	Andrade <i>et al.</i> (2016)
100:6,5:2,7	250:8,0:6,8	
100:2,7:0,9	250:3,8:2,3	

Fonte: Autor (2023).

Figura 4 - Relação DQO × DBO₅ para efluentes primários de laticínios provenientes de indústrias mineiras.



Fonte: Autor (2023).

A Tabela 7 apresenta os dados mais comumente analisados em efluentes secundários de laticínios mineiros. Esses efluentes foram biologicamente tratados

para posterior lançamento em corpos receptores. As fontes calcularam equivocadamente a média de pH, com isso tais valores não foram tabelados aqui. Com base nos dados de efluentes brutos, foi possível calcular as remoções percentuais de matéria orgânica.

As concentrações de matéria orgânica apresentaram valores, em sua grande maioria, superiores aos padrões de descarte. Apenas três amostras apresentaram valores de DBO₅ e DQO inferiores ao valor máximo permitido. Considerando a remoção percentual de DBO₅, duas amostras apresentaram remoção inferior a legislação federal e 10 amostras inferiores a estadual. Ao avaliar a remoção percentual de DQO, cerca de 30 % das amostras estiveram abaixo de 70 %. Importante ressaltar que as indústrias não são obrigadas a atender ambos os critérios de concentração máxima e remoção percentual de matéria orgânica (MINAS GERAIS, 2008), embora o último seja mais fácil de ser atendido. Quanto aos SST, mais de 80% das amostras apresentou concentração superior ao máximo permitido. Mesmo assim, a alta quantidade de amostras em desacordo acusa o tratamento inadequado desses efluentes.

De Mendonça *et al.* (2022) avaliaram a remoção de outros poluentes em amostras de efluente secundário de laticínios provenientes de lagoas de aeração durante um período de dois anos. O sistema de tratamento foi responsável por remover em média 92%, 98,8% e 50% de surfactantes, O&G e fósforo total, respectivamente. As amostras atenderam a legislação estadual, pois as concentrações médias de surfactantes e O&G foram de 0,43 mg.L⁻¹ e 1 mg.L⁻¹, respectivamente.

O índice de biodegradabilidade de efluentes tratados de laticínios variou de 0,23 a 0,90. Tentativa de correlacionar linearmente DQO e DBO₅, conforme mostra a Figura 5, apresentou um valor de R² muito baixo, constatando uma fraca correlação entre tais parâmetros de caracterização para efluentes tratados. Fracas correlações entre DQO e DBO₅ para efluentes tratados de indústria de celulose e papel (RAMOS *et al.*, 2022) e esgoto tratado de cidades brasileiras também têm sido comuns (BUDEIZ; AGUIAR, 2020).

Tabela 7 - Parâmetros físico-químicos de efluentes secundários de laticínios de Minas Gerais.

(continua)

Localização	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ /DQO	SST (mg.L ⁻¹)	Remoção de DBO ₅ (%)	Remoção de DQO (%)	Referência
	225,0	671,0	0,34	233,5	72,0*	59,3*	
	220,0	608,0	0,36	329,0	72,8*	61,3*	
	371,6	1613,0	0,23	69,5	49,2*	9,4*	
	123,9	461,0	0,27	441,5	91,2*	85,9*	
	291,9	395,0	0,74	211,0	63,1*	82,8*	
	274,5	609,5	0,45	285,5	87,7*	86,8*	
	195,0	557,0	0,35	406,5	91,5*	90,6*	
	144,5	219,5	0,66	238,5	87,6*	92,5*	
Não informado	224,8	682,0	0,33	261,0	82,7*	77,3*	Mendonça <i>et al.</i> (2022)
	334,5	536,5	0,62	329,5	88,8*	86,7*	
	423,0	1265,5	0,33	220,0	73,3*	71,8*	
	198,0	221,0	0,90	450,0	93,0*	93,3*	
	305,0	1055,0	0,29	342,5	69,3*	67,5*	
	317,5	492,5	0,64	199,5	84,2*	85,5*	
	307,5	1095,0	0,28	388,5	86,3*	59,2*	
	217,5	495,0	0,44	544,5	68,0*	55,0*	
	194,0	400,0	0,49	484,5	77,7*	78,0*	

Tabela 7 - Parâmetros físico-químicos de efluentes secundários de laticínios de Minas Gerais.

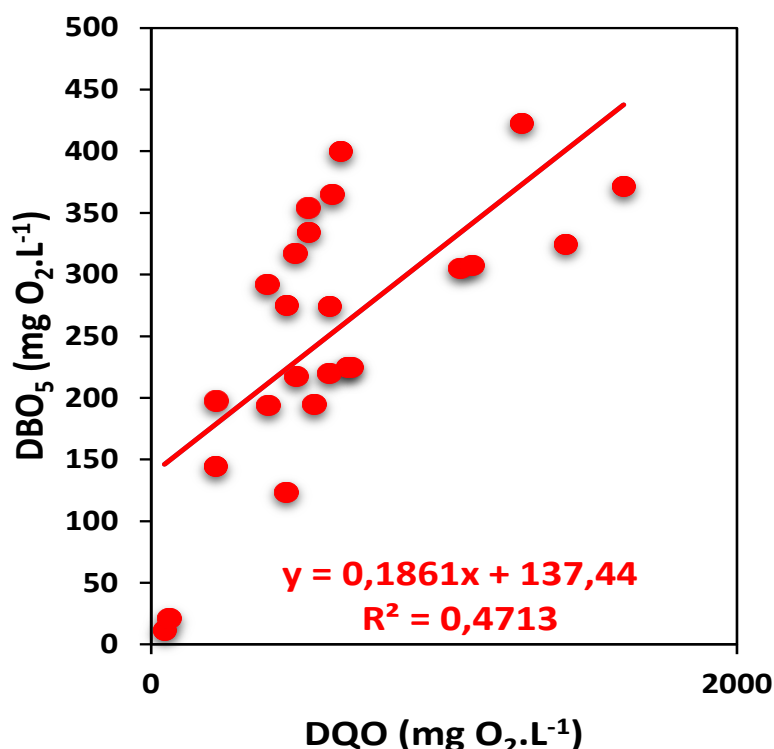
(conclusão)

Localização	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO ₅ /DQO	SST (mg.L ⁻¹)	Remoção de DBO ₅ (%)	Remoção de DQO (%)	Referência
São Vicente de Minas	70,0	-	-	-	40,0	-	SEMAD (2016c)
Não informado	400,0	647,0	0,62	272,0	61,9*	78,5*	Mendonça <i>et al.</i> (2022)
	354,5	536,0	0,66	377,5	76,4*	91,4*	
	325,0	1415,5	0,23	326,5	62,0*	64,1*	
	365,0	618,0	0,59	488,5	44,7*	78,6*	
	21,2	60,8	0,35	115,3	98,4*	97,3*	
	275,0	462,5	0,59	790,0	79,2*	80,7*	
Matutina	74,5	180,6	0,41	30,0	97,7	97,3	SEMAD (2017)
Lavras	-	173,25	-	178,75	-	-	Siqueira <i>et al.</i> (2022)
Não informado	-	524,0	-	-	-	-	Rodrigues-Sousa <i>et al.</i> (2021)
Não informado	11,6	46,5	0,25	11,0	99,7*	99,3*	Viana <i>et al.</i> (2021)

Fonte: Autor (2023).

* - Cálculo considerando efluentes preliminares

Figura 5 - Relação DQO x DBO₅ para efluentes secundários de laticínios provenientes de indústrias mineiras.



Fonte: Autor (2023).

Nas Tabelas 7 e 8 estão compiladas as faixas de valores para todos os parâmetros reportados para efluentes brutos e secundários revisados aqui, respectivamente. A grande amplitude dos valores deve ser dependente da frequência de limpezas e lavagens das máquinas, equipamentos e tipo de produto fabricado (SLAVOV, 2017). Embora a quantidade de efluentes tratados e caracterizados tenha sido bem inferior aos efluentes brutos, verificou-se uma diminuição da média da DBO₅ para as amostras tratadas. Tal característica está de acordo com a literatura, pois deve ter havido maior remoção da fração biodegradável, em sua maior parte no tratamento biológico (SLAVOV, 2017; VON SPERLING, 2014). Em geral, também houve uma redução da média de outros parâmetros avaliados, como DQO e SST após tratamento secundário. No entanto, os valores médios desses parâmetros indica a necessidade de melhorias no tratamento. Como a razão média DBO₅/DQO é acima de 0,4, a adoção de tratamentos biológicos como polimento (ex.: lagoas de polimento) ou o aumento do tempo de residência dos tratamentos biológicos já adotados na estação de

tratamento, se possível, são alternativas para aumentar a remoção de poluentes.

Tabela 8 - Faixa e média de parâmetros para os dados de efluentes brutos de laticínios de Minas Gerais.

Parâmetros	Nº de dados usados	Faixa	Média ± Desvio
pH	19	1,0 – 12,0	-
Temperatura	6	21 - 27,3	24,4 ± 2,1
DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	43	363,0 - 19964,0	2391,19 ± 2084,4
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	49	486,0 – 61045,0	5227,8±5536,8
DBO ₅ /DQO	42	0,19 – 0,77	0,45 ± 0,15
NT* (mg.L ⁻¹)	31	0,9 – 422,0	106,4 ± 95,7
N-NH ₄ (mg.L ⁻¹)	3	7,0 – 11,6	6,2 ± 3,3
PT (mg.L ⁻¹)	30	0,05 – 4934,8	184,5 ± 897,4
ST (mg.L ⁻¹)	6	114 - 12900	4386,3 ± 4311,4
SST (mg.L ⁻¹)	24	8 – 8540,0	1239,7 ± 1655,5
SSed (ml.L ⁻¹)	7	0,0 – 25,0	7,9 ± 8,6
O&G (mg.L ⁻¹)	42	74,2 – 14515,0	1767,7 ± 3148,9
Surfactantes (mg.L ⁻¹)	14	0,64 – 73,6	25,3 ± 20,2
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	5	1,6 – 3574,0	1201,3 ± 1192,6
Turbidez (NTU)	25	31,4 – 8440,0	1092,3 ± 993,4

Fonte: Autor (2023).

*Inclui valores de NKT.

Tabela 9 - Faixa e média de parâmetros para os dados de efluentes secundários de laticínios de Minas Gerais.

Parâmetros	Nº de dados usados	Faixa	Média ± Desvio
DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	26	11,6 - 423,0	241,0 ± 114,4
DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	27	46,5 - 1613,0	594,1±392,3
DBO ₅ /DQO	25	0,23 - 0,90	0,46 ± 0,18
SST (mg.L ⁻¹)	26	11 –1613,0	476,2± 288,5

Fonte: Autor (2023).

*Inclui valores de NKT.

Conhecendo a composição de efluentes de indústrias de laticínios torna possível selecionar métodos mais adequados para o seu tratamento. O uso de

diferentes tratamentos em sequência é comum para atender aos padrões de descarte (JOSHIBA *et al.*, 2019). Na Tabela 10 estão dispostos os tratamentos utilizados por algumas indústrias mineiras de laticínios, conforme mencionados nas fontes consultadas. Como tratamento preliminar, verificou-se o uso muito comum de gradeamento, peneiramento e/ou caixa de gordura. Em várias empresas há o uso de flotores, provavelmente quando há a necessidade de empregar um tratamento primário para remover sólidos suspensos, principalmente substâncias graxas não removidas no tratamento preliminar.

Em todas as fontes consultadas há a menção do emprego de pelo menos um tratamento biológico, anaeróbio, aeróbio, facultativo ou combinações em série. O tratamento mais usado consiste de lagoa aerada seguida de etapa de decantação para remoção de lodo. Também foi possível verificar que em mais da metade das indústrias faz-se o uso de um tanque de equalização com o intuito de homogeneizar a carga de poluentes durante o tratamento. Em muitas indústrias verificou-se que o esgoto sanitário é misturado ao efluente bruto, no tanque de equalização, ou adicionado diretamente na etapa biológica.

Apesar dos tratamentos adotados convencionalmente, foi verificado nesse levantamento que algumas empresas de laticínios mineiras realizam o descarte direto do efluente bruto em um corpo hídrico receptor. Silva *et al.* (2018) reportaram empresas que descartam seus efluentes sem usar nenhum tipo de tratamento ou apenas passam por caixas plásticas sem um tempo de detenção hidráulica padronizado, caixa de areia e/ou de gordura ou ajuste de pH, o que não configura necessariamente um tratamento dentro das normas técnicas. Borges *et al.* (2019) relataram uma microempresa de laticínios na qual não consta nenhum tipo de tratamento do efluente, possuindo apenas uma fossa séptica para tratar o esgoto industrial. Por meio das características reportadas desses efluentes, são esperados impactos ambientais negativos dos mesmos aos serem descartados sem nenhum tratamento. Além de tratamentos de efluentes nas próprias indústrias, uma delas descarta seu efluente bruto direto na rede coletora de esgoto do município para ser tratado junto ao esgoto sanitário do mesmo (SEMAD, 2018d).

Tabela 10 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de laticínios para remediar seus efluentes.

(continua)

Localização	Etapas do tratamento	Corpo hídrico receptor	Referências
Não informado	Peneiramento – Flotação – Lodo ativado	Não informado	Andrade (2011); Andrade et al. (2015a)
Belo Horizonte	Peneiramento – Caixa de areia – Lagoa anaeróbia – Lagoa facultativa	Não informado	Rodrigues et al. (2015)
Santa Rita do Sapucaí	Peneiramento – Caixa de gordura – Lagoa anaeróbia – 2 Lagoas facultativas (em série)	Córrego Raso - Rio Sapucaí	SEMAD (2016a)
São Sebastião do Paraíso	Peneiramento – Caixa de gordura – Tanque de equalização - Flotação – Centrifugação* - Lodos ativados em batelada	Rede pública de esgoto	SEMAD (2016b)
São Vicente de Minas	Tanque séptico - Peneiramento – Caixa de gordura – Tanque de equalização – Flotação – 2 Lagoas anaeróbias – Lagoa aerada – Lagoa de decantação	Córrego Engenho da Serra	SEMAD (2016c)
Ingaí	Caixa de gordura – Tanque de equalização - Flotação – 2 Lagoas anaeróbias – 2 Lagoa facultativas (em série)	Ribeirão da Cachoeira	SEMAD (2016d)
Lavras	Caixa de gordura – Neutralização – Flotação – Lagoa de decantação – Biodigestor – Lagoa anaeróbia	Não informado	De Siqueira et al. (2022)
Lavras	Caixa de areia – Caixa de gordura – Tanque de equalização – Flotação – Filtro prensa* – Filtro - Lagoa de decantação – Lagoa aeróbia – Lagoa anaeróbia	Ribeirão Vermelho	SEMAD (2016e)

Tabela 10 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de laticínios para remediar seus efluentes.

(continuação)

Localização	Etapas do tratamento	Corpo hídrico receptor	Referências
Arapuá	Peneiramento – Tanque de equalização – 2 Lagoas anaeróbias (em paralelo) – Lagoa aerada – Flotação – centrifugação.	Córrego da Aldeia	SEMAD (2018b)
Carlos Chagas	Separador água/óleo – Coagulação/floculação – Flotação – Reator UASB.	Rio Mucuri	SEMAD (2018c)
Itanhandu	Gradeamento - Caixa de gordura - Tanque de equalização – Tanque de aeração – Tanque de decantação - Tanque de contato e 8 Leitos de secagem.	Rio Verde	SEMAD (2018e)
Buritis	Gradeamento – Tanque de equalização – Tanque de aeração - Tanque de decantação.	Córrego Vereda	SEMAD (2019a)
Bandeira do Sul	Peneiramento – Flotação – Tanque de equalização – Filtro anaeróbio – Leito de secagem	Ribeirão Marambaia	SEMAD (2019b)
Serrania	Peneiramento – Caixa de gordura – Tanque de equalização – Filtro anaeróbio	Rede pública de esgoto	SEMAD (2019e)
Santa Vitória	Gradeamento – Caixa de areia – Caixa de gordura – Tanque de equalização – Coagulação/floculação – Flotação – Decantador – 3 Reatores anaeróbios em série	Rede pública de esgoto	SEMAD (2019c)
Sabará	Gradeamento – Tanque de equalização – Flotação – Lodos ativados – Lagoa de polimento	Ribeirão Vermelho	SEMAD (2021b)
Santos Dumont	Gradeamento – Peneiramento – Tanque de equalização – Lodos ativados – Flotação	Rio do Pinho	SEMAD (2018a)

Tabela 10 - Tratamentos empregados por indústrias mineiras de laticínios para remediar seus efluentes.

(conclusão)

Localização	Etapas do tratamento	Corpo hídrico receptor	Referências
Antônio Carlos	Tanque de equalização – Peneiramento – Flotação – Caixa de gordura – Lagoas anaeróbias – Lagoa aerada – Lagoa de decantação – Leito de secagem*	Rio das Mortes	SEMAD (2020)
Três Pontas	Gradeamento – Caixa de areia – Tanque de equalização – Reator anaeróbio – Decantação – Leito de secagem*	Rede pública de esgoto	SEMAD (2021a)
Patos de Minas	Gradeamento – Caixa de areia – Tanque de equalização – Tanque aerado – Caixa de gordura – Lagoa de lodo/gordura - 2 Lagoas anaeróbias – 2 Lagoas facultativas	Córrego Canavial	SEMAD (2019d)
Cruzília	Gradeamento – Caixa de gordura – Tanque de equalização – Decantador – Circulador de lodo – Leito de secagem*	Córrego Pito Aceso	SEMAD (2019f)
Oliveira	Peneiramento – Caixa de gordura – Flotação – Lagoa anaeróbia – Lagoa aerada – Lagoa de decantação - Leito de secagem*	Ribeirão Dias	SEMAD (2019g)
Sabará	Gradeamento – Tanque de equalização – Flotação – Lodos ativados – Lagoa de polimento	Ribeirão Vermelho	SEMAD (2021b)
Matutina	Peneiramento – Caixa de areia – 2 Peneiras em série - Tanque de equalização – Coagulação/floculação –	Córrego Chicão	SEMAD (2017)

Fonte: Autor (2023).

A disposição alternativa de efluentes de laticínios tratados vem se tornando uma opção viável para reduzir o lançamento de efluentes em cursos d'água, além de reduzir a poluição hídrica gerada por esse setor. Curiosamente, foi verificada a reutilização do efluente tratado por uma empresa para fertirrigação de área de pastagem (SEMAD, 2020). Além disso, algumas empresas não descartam o soro ou o resíduo do soro do leite, optando por fornecê-los a produtores rurais como complemento alimentar animal (SEMAD, 2018b; SEMAD, 2018e; SEMAD, 2019c). Em relação a outros resíduos gerados, verificou-se que o lodo biológico e O&G separados no tratamento são destinados à compostagem (SEMAD, 2016a; SEMAD, 2016b; SEMAD, 2018b; SEMAD, 2018c).

4 TRATAMENTOS ALTERNATIVOS PARA EFLUENTES DE LATICÍNIOS

Os processos convencionais de tratamentos de efluentes de laticínios possuem algumas limitações. Uma delas é a baixa remoção de O&G nos tratamentos preliminares e primários, na qual se pode tornar um problema no tratamento biológico, reduzindo a eficiência de biorreatores e gerando maus odores. A baixa sedimentabilidade do lodo biológico formado é outro problema que afeta esses sistemas (SLAVOV, 2017). Os tratamentos alternativos são uma opção para produzir efluentes com qualidade que não somente atendam aos padrões de lançamento em corpos hídricos receptores, mas também permitir seu reuso (JINDAL *et al.*, 2018).

A Tabela 11 compila os dados reportados para alguns tratamentos alternativos aplicados para os efluentes, em escala de bancada. Dentre os estudos que avaliaram o uso de coagulantes, Ferreira *et al.* (2016) avaliou extrato de algumas plantas. O processo de coagulação foi mais eficaz com casca de *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão), reduzindo 63% da DBO₅. Por outro lado, a remoção de DBO₅ utilizando *Acacia decurrens* ou ácido gálico foi de 35% e 58%, respectivamente, valores esses abaixo dos padrões de descarte. Santos Pereira *et al.* (2020a) avaliaram a coagulação por mistura de poliacrilamida e tanino comercial (Tanfloc) seguida de flotação por ar dissolvido. O tratamento removeu 95% de SST, 88% de turbidez e 76% da DBO₅. Por sua vez, de Araújo *et al.* (2017) avaliaram a aplicação de resíduos de mineração de ferro. O tratamento com coagulante contendo óxidos de Al e Fe removeu 62% da DQO, 97% de fósforo e 82% da turbidez. Em relação à eletrocoagulação, diversas composições de eletrodos foram avaliadas por Valente *et al.* (2012; 2015, 2020). Foram verificados remoções de DQO de até 65,6%, 60% e 58% para eletrodos de Fe, Zn e Al, respectivamente. Em geral, todos os tipos de eletrodos apresentaram elevada remoção de turbidez (>90%). Todavia, nenhuma dos tratamentos mencionados atendeu a remoção mínima de 70% da DQO.

Considerando processos oxidativos avançados para tratamento de efluentes, De Abreu *et al.* (2013) avaliaram a influência de diversos parâmetros na fotoperoxidação catalisada por óxido de zinco. Foi verificado um aumento de 42% para 62% na remoção de DQO ao aumentar o pH inicial de 3 para 6. Todavia,

verificou-se uma redução de 18% na remoção de DQO ao elevar à quantidade de H_2O_2 , pois este insumo em excesso sequestra radicais livres (LIU *et al.*, 2021). Pereira *et al.* (2020b) avaliaram flotação com ozônio junto a adição de peróxido de hidrogênio aplicado a um efluente de laticínios. Notaram-se remoções de DQO e DBO_5 de até 74,5% e 84,6%, respectivamente, valores esses em acordo aos padrões de descarte.

Quanto ao uso de processos biológicos ainda pouco convencionais, diversos trabalhos avaliaram a utilização de biorreatores de membrana submersa. Andrade *et al.* (2013) reportaram remoções de até 99% tanto para DBO_5 quanto para DQO para um tempo de residência de 6 h. Além disso, eles verificaram que apenas compostos de baixa massa molecular foram eficientemente biodegradados, enquanto os de alta massa molecular ficaram retidos pela membrana. Em outro trabalho do mesmo grupo, eles avaliaram a influência da configuração dos biorreatores de membrana (ANDRADE *et al.*, 2014a). Foi verificado que os módulos de membrana interna ou externa removeram 98,2% e 97,9% da DQO, respectivamente. Todavia, o biorreator de módulo externo apresentou menores problemas de *fouling*, pois segundo os autores a bomba de recirculação levou à redução do tamanho de coloides proteicos presentes no efluente.

Em outros trabalhos envolvendo processos biológicos foi avaliada a utilização de lipase de micélio do fungo *P. citrinum* (*whole cells*). A hidrólise enzimática por lipase removeu 46% da DQO. Todavia, ao realizar a hidrólise enzimática simultaneamente a biodigestão anaeróbia, a remoção diminuiu para 36%, embora tenha produzido biogás (ALVES *et al.*, 2019), o qual pode ser usado como fonte de energia. Em outro trabalho do mesmo grupo, Ferreira *et al.* (2021) também avaliaram a hidrólise enzimática por lipase do mesmo fungo também associação forma simultânea a biodigestão anaeróbia. Nesse estudo, o fungo foi cultivado em meio de cultura composto por resíduos agroindustriais, diminuindo o custo de obtenção de lipase, segundo os autores. Foi verificada uma remoção de até 57% da DQO, valor esse superior ao do estudo anterior, mas ainda abaixo de 70%.

O polimento de efluentes de laticínios também foi avaliado, mas por poucos trabalhos. Sousa *et al.* (2019) avaliaram o polimento por meio de eletrólise ou eletrólise foto-assistida na presença de cloretos com eletrodos de Ti. O primeiro tratamento removeu 86% de DBO_5 e 96% de DQO, enquanto o segundo removeu

97,2% e 97,8% dos mesmos parâmetros. Ambos efluentes tratados atenderam aos padrões de descarte. Andrade *et al.* (2014b) avaliaram a nanofiltração como polimento de um efluente tratado previamente em um biorreator de membrana de bancada. A nanofiltração reduziu de 34 para 4 mg.L⁻¹ de DQO. Eles ainda verificaram que a qualidade do permeado da nanofiltração permite seu uso para refrigeração e geração de vapor de baixa pressão. Ainda segundo eles, o efluente tratado pode ser reaproveitado para lavagem de pisos, áreas externas e caminhões, pois tais usos exigem uma qualidade inferior de recurso hídrico.

Tabela 11 - Características do efluente de laticínios tratados nas escalas de bancada e semi-piloto.

(continua)

Tratamento	Efluente tratado			Remoção de DBO ₅ (%)	Remoção de DQO (%)	Remoção de turbidez (%)	Referências
	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	pH				
UV/H ₂ O ₂ /ZnO	-	1074,6 - 1313,4	3;4;9	-	45-55	-	Abreu <i>et al.</i> (2013)
Hidrólise por lipase de micélio de <i>Penicillium citrinum</i>	-	36194	4,4	-	-	-	Alves <i>et al.</i> (2019)
Hidrólise por lipase de micélio de <i>P. citrinum</i> + Biodigestão anaeróbica	-	42755	4,1	-	-	-	
Eletrocoagulação com eletrodos de Fe	-	-	8*	-	22,0 – 65,6	40,9 - 95,6	Valente <i>et al.</i> (2012)
Biorreator de membrana interna	3 - 14	45 - 50	-	-	-	-	Andrade <i>et al.</i> (2013)
Biorreator de membrana interna	3 - 6	54 - 66	-	-	-	-	Andrade <i>et al.</i> (2014a)
Biorreator de membrana interna	-	34	-	-	-	-	Andrade <i>et al.</i> (2014b)
Biorreator de membrana interna + nanofiltração	-	4	-	-	-	-	
Hidrólise por lipase de micélio de <i>P. citrinum</i> + Biodigestão anaeróbica	-	11,91-16,06	7*	-	42 - 57	-	Ferreira <i>et al.</i> (2021)

Tabela 11 - Características do efluente de laticínios tratados nas escalas de bancada e semi-piloto.

(conclusão)

Tratamento	Efluente tratado			Remoção de DBO ₅ (%)	Remoção de DQO (%)	Remoção de Turbidez (%)	Referências
	DBO ₅ (mg O ₂ .L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	pH inicial				
Coagulação com mistura de poliacrilamida e tanino + Flotação por ar dissolvido	1556,0	3502,2	7,6	76,2	54,2	88,0	Santos Pereira <i>et al.</i> (2020a)
Coagulação com extrato de <i>Stryphnodendron adstringens</i>	463	-	4,5	63,1	-	92,9	Ferreira <i>et al.</i> (2016)
Coagulação com extrato de <i>Acacia decurrens</i>	816	-	4,5	35,0	-	96,9	
Coagulação com ácido gálico	525	-	4,5	58,2	-	97,8	
Eletrocoagulação com eletrodos de Zn	-	2018 - 4318	4,2-9*	-	14,4-60,0	22,5 - 98,1	Valente <i>et al.</i> (2020)
Flotação por ozônio dissolvido+ H ₂ O ₂	960.0 – 2612,0	2233.8 – 5015,4		27,7 - 85,6	32,5 - 74,5	37,6 - 95,2	Pereira <i>et al.</i> (2020b)
Eletrocoagulação com eletrodos de Al	-	-	5;9	-	30 - 58	50 - 100	Valente <i>et al.</i> (2015)
Coagulação com resíduo de mineração	-	3700	6*	-	62	82	Araújo <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Autor (2023).

5 PRODUTOS BIOTECNOLÓGICOS

A produção de biocombustíveis como o biogás, surgiu como uma alternativa com grande potencial e possibilitou grandes avanços no setor, gerando valor na cadeia produtiva do leite, uma vez que se pode recuperar a energia contida nos resíduos para geração de energia ou produção de calor, e ainda contribui com a redução de impactos ambientais, já que também é uma alternativa para tratar os resíduos sólidos e efluentes líquidos gerados na cadeia produtiva (GOTARDI, 2021).

Segundo Santos (2008), vários microrganismos possuem a habilidade de utilizar material orgânico com pouco conteúdo proteico e transformá-lo em um alimento rico em proteína e apresentam diversas vantagens econômicas, visto potencial alimentar desse produto e ambientais, devido ao fato de aproveitar efluentes que outrora seriam descartados em corpos hídricos e que mesmo tratados ainda possuem capacidade de danificar o ecossistema.

Espécies que tem sido amplamente utilizadas incluem a *Kluyveromyces fragilis* e *Saccharomyces fragilis*, microrganismos reconhecidos como seguros para consumo humano pela *Food Drug Administration* (FDA) (BOSSO *et al.*, 2020), e leveduras do gênero *Kluyveromyces*, por serem capazes de utilizar o permeado de soro de leite como substrato e produzirem enzimas de interesse como a β -galactosidase (RACHOW, 2019).

Estudos apresentados por Choi *et al.* (2022) apontam o efluente de laticínio mineiro como um meio de cultura promissor à produção de biomassa a partir de *Monoraphidium contortum*. Os testes mostraram que a deficiência de nitrogênio no efluente secundário prejudicava o rendimento na produção de biomassa, sendo necessária suplementação, a qual se mostrou mais adequada na razão molar de Nitrogênio: Fosforo de 1,71:1. Com isso obteve-se uma biomassa composta por 14,97% de proteína e 40,46% de lipídios, adequada para a produção de biodiesel segundo os autores.

Produção de biomassa algácea também foi relatada por Nunes *et al.* (2021), aplicando ao efluente secundário de um laticínio a microalga *Chlorella vulgaris*. Os autores testaram a eficiência na produção de biomassa para efluentes puros e diluídos, e com isso foi possível verificar melhor resultado nos efluentes puros com suplementação de nitrogênio:fósforo de 0,77, em massa, o que equivale a 1,71:1 em

razão molar. A concentração máxima obtida foi de 742,60 mg.L⁻¹ de biomassa, a qual foi composta de 11,73% de proteína e 43,85% de lipídios. Tal resultado foi considerado promissor visto que a composição da biomassa permite utilizá-la para produção de biodiesel ou como fonte alimentar animal.

A utilização de *K. lactis* aplicado no soro do leite por Alvarenga *et al.* (2017) teve como objetivo a produção de proteína unicelular (*single cell protein*). A biomassa obtida a partir de *K. lactis* apresentou 5,73% em massa de proteína, que representa nove vezes o teor de proteína presente no soro de leite. Apesar do resultado promissor, faz-se necessário definir a composição de aminoácidos dessas proteínas, bem como realizar testes biológicos para verificar seu aproveitamento nutricional.

Segundo Rodrigues-Sousa *et al.* (2021), *C. vulgaris* foi aplicada nas águas residuárias de um laticínio e apresentou-se como potencial produtor de biomassa, sua utilização se mostrou mais eficaz quando submetido ao efluente diluído (75% em massa), e com suplementação na razão molar de N:P=16:1, foi apontada pelos autores a de maior produção de biomassa, contudo, verificaram que apesar de boa produção a suplementação não era a ideal visto elevada quantidade de nitrogênio no produto final. Nessas condições obteve-se concentração máxima de biomassa de 814,1 mg.L⁻¹ composta por 21,92% de proteínas e 28,68% de lipídios.

Segundo o estudo desenvolvido por Pires *et al.* (2020), um efluente de laticínio rico em soro de queijo foi submetido ao tratamento utilizando *C. vulgaris*. Após um pré-tratamento por coagulação, o tratamento com microalgas gerou biomassa rica em proteína (41%) e clorofila (15%). Segundo os autores, a biomassa obtida apresentou teor de proteínas, lipídios, pigmentos e vitaminas que a torna boa matéria prima para cosméticos, biocombustíveis e alimentos e suplementos alimentares. No tratamento com microalgas foi possível verificar remoção de 24% de carbono, 64% de nitrogênio e 70% de fósforo do meio onde aplicada, o que demonstrou a possibilidade de aplicação desta microalga no tratamento de efluentes para remoção de carga orgânica.

Romão *et al.* (2019) sugere a utilização de um consórcio microbiano como inóculo e como fonte de carbono a utilização de soro de queijo permeado de composição principal lactose (92,97% e proteína (1,42%), o processo fermentativo se mostrou mais eficiente em regime semi-contínuo e foi obtido biogás composto em

sua maioria por dióxido de carbono e gás hidrogênio, sem presença de metano. A produção máxima de 148 mmol H₂/L dia obtida ocorreu entre 50 e 71 horas.

Estudo desenvolvido por Borges *et al.* (2015) provou que o cultivo de microalga *Scenedesmus sp.* em soro de queijo *in natura* com 2,5 g.L⁻¹ de lactose e 20% de volume de inóculo é mais eficiente do que em permeado de soro de leite. Microalgas se mostram uma boa opção de tratamento para efluentes lácteos, afim de remover a carga orgânica, além de tratar.

Segundo Rocha *et al.* (2013), cepas de *Aspergillus niger* foram utilizadas para obtenção de um complexo enzimático, por fermentação em estado solido, utilizando resíduos da agroindústria como substrato, entre esses o soro de leite. Segundo os autores, o etanol foi produzido utilizando *Saccharomyces cerevisiae* Y904 e o complexo de enzimas de *A. niger* aplicado ao soro de leite e subprodutos do arroz utilizados como substrato. Dessa maneira, obtiveram uma produção de etanol 2,25 vezes maior do que quando utilizado *Trichoderma reesei* em condições idênticas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos dados reportados nessa revisão bibliográfica é evidente a necessidade do tratamento de efluentes brutos de indústrias mineiras de laticínios. Em geral, as amostras de efluente bruto de laticínios apresentaram elevados teores de DQO, DBO₅, O&G, nitrogênio total, fósforo e SST. Além disso, mais de 60% das amostras reportadas apresentou elevado índice de biodegradabilidade, superior a 0,4, o que confirma que tratamentos biológicos são os mais indicados para remediar esse tipo de efluente. Por meio das proporções entre matéria orgânica e nutrientes, verificou-se que em mais da metade das amostras brutas reportadas não há quantidades mínimas requeridas de nutrientes N e P para serem biologicamente tratados. As tentativas de correlação linear entre parâmetros de DBO₅ e DQO para efluentes brutos e primários apresentaram ajustes com R² superiores a 0,8.

Em geral, os efluentes tratados biologicamente estiveram de acordo com a legislação ambiental estadual e federal considerando a remoção percentual de DQO e DBO₅. Todavia, ao considerar as concentrações máximas permitidas de matéria orgânica e SST, ainda foram verificados valores acima dos padrões de descarte.

Em relação aos tratamentos aplicados por indústrias mineiras de laticínios, grande parte delas usa peneiras e caixas de gordura como tratamentos preliminares e a utilização eventual de flotação como tratamento primário. Em todas as empresas foram verificados tratamentos biológicos, predominando lagoas anaeróbias ou aeradas, além de lodos ativados. Por outro lado, foram reportados casos de empresas que lançam diretamente o efluente bruto de laticínios sem tratamento prévio ao corpo hídrico receptor.

Os tratamentos alternativos se demonstraram efetivos na remoção de parâmetros de concentração de matéria orgânica e turbidez. Processos baseados em biorreatores de membrana e técnicas avançadas como flotação com ozônio dissolvido removeram mais de 80% de DBO₅, atendendo aos padrões de descarte.

Pautado nos processos biotecnológicos, a água residuária oriunda dos laticínios podem ser consideradas matéria prima rica em nutrientes necessários em processos microbiológicos. A utilização desse efluente, nesse contexto, é de grande importância, pois permite obter produtos ou mesmo gerar energia, o que agrega de forma financeira e ambiental a indústria de laticínio.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P.; Pereira, E. L.; Campos, C. M. M.; Naves, F. L. Photocatalytic Oxidation Process (UV/H₂O₂/ZnO) in the treatment and sterilization of dairy wastewater. **Acta Scientiarum - Technology**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 75–81, 2013.
- AHMAD, T.; Aadil, R. M.; Ahmed, H., ur.; Rahman, U.; Soares, B. C.; Souza, S. L.; Cruz, A. G. Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review. **Trends in Food Science and Technology**, Pakistan, v. 88, p. 361–372, 2019.
- ALVARENGA, G. F.; PEREIRA, B. M., SOUZA, B. G. S.; PINHEIRO, J. S.; DE JESUS GUEDES, T.; PINTO, N. A. V. D.; SAMPAIO, F. C. Utilização do soro de leite não suplementado para a produção de β -galactosidase e proteína microbiana de *Kluyveromyces lactis*. **Caderno de Ciências Agrárias**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p. 67–73, 2017.
- ALVES, A. M.; DE MOURA, R. B.; CARVALHO, A. K.; DE CASTRO, H. F.; & ANDRADE, G. S. *Penicillium citrinum* whole-cells catalyst for the treatment of lipid-rich wastewater. **Biomass and Bioenergy**, Poços de Caldas, v. 120, p. 433–438, 2019.
- ALVIM, C S.; MARQUES, P. V. Avaliação da eficiência de remoção de poluentes de indústria de laticínio por meio de *jarrest*. **Revista Augustus**, Três Corações, v. 24, n. 49, p. 209–223, 2019.
- ANDRADE, L. H. Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reuso, Dissertação de Mestrado. **Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, 2011.
- ANDRADE, L. H.; MENDES, F. D. D. S.; ESPINDOLA, J. C.; AMARAL, M. C. S.. Internal versus external submerged membrane bioreactor configurations for dairy wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**, Belo Horizonte, v. 52, n. 16–18, p. 2920–2932, 2014a.
- ANDRADE, L. H.; MENDES, F. D. S.; ESPINDOLA, J. C.; AMARAL, M. C. S. Nanofiltration as tertiary treatment for the reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor. **Separation and Purification Technology**, Belo Horizonte, v. 126, p. 21–29, 2014b.
- ANDRADE, L. H.; MENDES, F. D. S.; ESPINDOLA, J. C.; AMARAL, M. C. S. Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: Technical and economic feasibility. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Belo Horizonte, v. 32, n. 3, p. 735–747, 2015.
- ANDRADE, L. H.; MOTTA, G. E.; AMARAL, M. C.S. Treatment of dairy wastewater with a membrane bioreactor. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, Belo Horizonte, v. 30, n. 4, p. 759–770, 2013.

ARAÚJO, A.; MOREIRA, A. J.; DE OLIVEIRA, D. D. C.; FERREIRA, P. H.; CORREA, R. G.; FRESCHI, G. Obtenção de coagulante mineral a partir de resíduos de mineração e sua aplicação em efluentes industriais. In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO DA ASSEMAE, 47., 2017. Campinas. **Anais [...]**. Campinas: ASSEMAE, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ailton-Moreira/publication/318792996_OBTENCAO_DE_COAGULANTE_MINERAL_A_PARTIR_DE_RESIDUOS_DE_MINERACAO_E_SUA_APLICACAO_EM_EFLUENTES_INDUSTRIAIS/links/597f52e0458515687b4a61ad/OBTENCAO-DE-COAGULANTE-MINERAL-A-PARTIR-DE-RESIDUOS-DE-MINERACAO-E-SUA-APLICACAO-EM-EFLUENTES-INDUSTRIAIS.pdf. Acesso em: 15 fev. 2023.

BAKI, O. T. Biochemical oxygen demand prediction in wastewater treatment plant by using different regression analysis models, **Desalination and Water Treatment**, Trabzon, v. 157, p. 79–89, 2019.

BATISTA, Aryane Pereira. **Avaliação do uso de placas de coalescência e filtros orgânicos em caixas de gordura para tratamento preliminar de efluente de laticínios**. 2016. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2016.

BHATIA, S. K.; JOO, H. S.; YANG, Y. H. Biowaste-to-bioenergy using biological methods – A mini-review. **Energy Conversion and Management**, South Korea, v. 177, p. 640–660, 2018.

BORGES, T. N.; COSTA, R. M.; GONTIJO, H. M. Caracterização do efluente de uma indústria de laticínios: proposta de tratamento. **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 8, n. 1, 2019.

BORGES, W. S.; ARAÚJO, B. S. A.; MOURA, L. G.; COUTINHO FILHO, U.; DE RESENDE, M. M.; CARDOSO, V. L. Bio-oil production and removal of organic load by microalga *Scenedesmus sp.* using culture medium contaminated with different sugars, cheese whey and whey permeate. **Journal of Environmental Management**, Uberlândia, v. 173, p. 134-140, 2015.

BOSSO, A.; TOMAL, A. A. B.; CALDEIRÃO, L.; DA SILVA, J. B.; SUGUIMOTO, H. H. Cheese whey as potential medium fermentation to *Saccharomyces fragilis* IZ 275 yeast. **Scientia Plena**, Londrina, v. 16, n. 2, p. 1 – 4, 2020.

BRASIL. Resolução nº. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em 16 jul 2022.

BUDEIZ, V.; AGUIAR, A. Monitoramento e relacionamento dos parâmetros DQO e DBO₅ em afluentes e esgoto tratado das cidades de Itajubá e Pedralva, MG. **Periódico Tchê Química**, Itajubá, n. 17, v. 34, p. 80 – 92, 2020.

BURKE, N.; Zacharski, K. A.; Southern, M.; Hogan, P.; Ryan, M. P.; Adley, C. C. The

dairy industry: process, monitoring, standards, and quality, **Descriptive Food Science**. Editora: IntechOpen – London, v. 162, p. 3-25, 2018.

CARMO, M.D.G.A. **Emprego do pó da semente in natura de moringa (*Moringa oleifera Lam*) no tratamento de efluente de laticínio**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Triangulo Mineiro, MG, 2015.

CARVALHO, G. R; ROCHA, D T; GOMES, I R. O Mercado do Leite em 2017. **Circular Técnica EMBRAPA**, Juiz de Fora, v. 118, p. 28, 2018.

CHANDRA, R.; Castillo-Zacarias, C.; Delgado, P.; Parra-Saldívar; R. A biorefinery approach for dairy wastewater treatment and product recovery towards establishing a biorefinery complexity index. **Journal of Cleaner Production**, Monterrey, v. 183, p. 1184–1196, 2018.

CHOI, N.; NUNES, I. V.; OHIRA, G. O.; CARVALHO, J. C. M.; MATSUDO, M. C. Evaluation of *Monoraphidium contortum* for the tertiary treatment of dairy industry wastewater and biomass production with nitrogen supplementation. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, Itajubá, v. 46, p. 265-271, 2023.

CHOKSHI, K.; PANCHA, I.; GHOSH, A.; MISHRA, S. Microalgal biomass generation by phycoremediation of dairy industry wastewater: An integrated approach towards sustainable biofuel production. **Bioresource Technology**, Gujarat, v. 221, p. 455–460, 2016.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Anuário Leite 2022**, Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1144110/anuario-leite-2022-pecuaria-leiteira-de-precisao>. Acesso em: 18 de jul. de 2022.

FERREIRA, T. F.; SANTOS, P. A.; PAULA, A. V.; DE CASTRO, H. F.; ANDRADE, G. S. Biogas generation by hybrid treatment of dairy wastewater with lipolytic whole cell preparations and anaerobic sludge. **Biochemical Engineering Journal**, Poços de Caldas, v. 169, n. 107965, p. 1–8, 2021.

FERREIRA, V. R. F.; DE SOUZA, J. A.; DAS GRAÇAS CARDOSO, M.; DE LIMA GUIMARÃES, L. G.; BRANDÃO, R. M.; SOUZA, R. V.; NELSON, D. L. Evaluation of the coagulating potential of the crude extract from the barbatimão bark for the treatment of dairy effluents. **American Journal of Plant Sciences**, Lavras, v. 7, n. 13, p. 1685–1692, 2016.

FGV – FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, PROJETOS. **O Setor de laticínios no Brasil e suas interações com o comércio internacional**, Brasil, 2018. Disponível em: https://gvagro.fgv.br/sites/gvagro.fgv.br/files/u115/laticinios_fgv_PT.pdf. Acesso em: 21 de jul. de 2022.

GOTARDI, A. R. S. Tratamento de efluente de laticínio para produção de biogás: uma abordagem para a sustentabilidade. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – **Fundação Universidade**

Federal de Rondônia, Campus Ji-Paraná, Ji-Paraná, 2021.

HAMDAN DE ANDRADE, L.; DANIELLE DE SOUZA MENDES, F.; CERQUEIRA, N.; CAWETIERRE ESPINDOLA, J.; CRISTINA SANTOS AMARAL, M. Fouling evaluation in a MBR for dairy effluent treatment. **Desalination and Water Treatment**, Belo Horizonte, v. 57, n. 26, p. 11919–11930, 2016.

JESUS, C. S. A.; RUTH, V.G. E.; DANIEL, S. F. R.; SHARMA, A. Biotechnological Alternatives for the Utilization of Dairy Industry Waste Products. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, Tlalpan, v. 06, n. 3, p. 223–235, 2015.

JINDAL, T.; SINHA, S.; SRIVASTAVA, A.; MEHROTRA, T.; SINGH, R. Surbhiet al. A Review on the Dairy Industry Wastewater Characteristics, Its Impact on Environment and Treatment Possibilities. **Emerging Issues in Ecology and Environmental Science**, Uttar Pradesh, p. 73–84, 2019.

JOSHIBA, G. Janet et al. Critical review on biological treatment strategies of dairy wastewater. **Desalination and Water Treatment**, v. 160, p. 94–109, 2019.

KASMI, M. Biological Processes as Promoting Way for Both Treatment and Valorization of Dairy Industry Effluents. **Waste and Biomass Valorization**, Soliman, v. 9, n. 2, p. 195–209, 2018.

KOTHARI, R.; PATHAK, V. V.; KUMAR, V.; SINGH, D. P. Experimental study for growth potential of unicellular alga *Chlorella pyrenoidosa* on dairy waste water: An integrated approach for treatment and biofuel production. **Bioresource Technology**, Lucknow, v. 116, p. 466–470, 2012.

LIU, L.; Chen, Z.; Zhang, J.; Shan, D.; Wu, Y.; Bai, L.; Wang, B. Treatment of industrial dye wastewater and pharmaceutical residue wastewater by advanced oxidation processes and its combination with nanocatalysts: A review. **Journal of Water Process Engineering**, Tianjin, v. 42, n. 22, p. 102122, 2021.

LOPES, S. M. D.; Martins, M. L.; da Silva, R. R.; da Rocha Campos, A. N.; Otenio, M. H.; Sandim, F. L. S.; Silva, V. R. Characterization of effluents generated during the cleaning of expansion tanks used to store raw milk in Brazil. **Brazilian Journal of Development**, Rio Pomba, v. 6, n. 11, p. 93142–93166, 2020.

LUCEY, J.A.; HORNE, D.S., Milk Salts: Technological Significance. **Advanced Dairy Chemistry**, New York, pp. 351–389, 2009.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Tabelas Gerais Projeções do Agronegócio 2020-2021 a 2030-2031**, Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/tabelas-gerais-projecoes-do-agronegocio-2020-2021-a-2030-2031-1.xlsx/view>. Acesso em: 15 de jul. de 2022.

MATOS, A. T. D.; ABRAHÃO, S. S.; MONACO, P. A.; SARMENTO, A. P.; MATOS, M. P. D. Capacidade extratora de plantas em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias de laticínios. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1311–1317, 2010.

MATOS, M. P. D.; BORGES, A. C.; MATOS, A. T. D.; SILVA, E. F. D.; MARTINEZ, M. A. Effect of time-temperature binomial in obtaining biochemical oxygen demand of different wastewaters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, p. 332–340, 2014.

MENDONÇA, H. V. Remoção de nitrogênio e fosforo de águas residuárias de laticínios por sistemas alagados construídos operando em bateladas. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 75–87, 2012.

MENDONÇA, H. V.; OTENIO, M. H.; LOMEU, A. A.; SANTA RITA, A. V. Post-treatment of an aerated facultative pond with constructed wetland: First two years of operation in a dairy industry. **Ecological Engineering**, Seropédica, v. 179, n. 106623, 2022.

MENDONÇA, H. V.; RIBEIRO, C. B. D. M.; NOGUEIRA, KELLY C. C. Remoção de matéria orgânica e nutrientes de águas residuais de laticínios em sistemas alagados construídos. **Revista de Ciências Agrárias**, Juiz de Fora, v. 40, n. 1, p. 12–22, 2017.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM**. Minas Gerais, 2008.

MOHAMMADI, L.; Rahdar, A.; Bazrafshan, E.; Dahmardeh, H.; Susan, M. A. B. H.; Kyzas, G. Z. Petroleum hydrocarbon removal from wastewaters: A review. **Processes**, Zahedan, v. 8, n. 4, p. 1–36, 2020.

MONTEIRO, A. D. S. Produção de biossurfactantes/bioemulsificantes por leveduras isoladas de efluentes de uma indústria de laticínios, Tese de Doutorado. **Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas**, Belo Horizonte, 2009.

MORAIS, N. W. S.; SANTOS, A. B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. **Revista DAE**, Fortaleza, v. 67, n. 215, p. 40–55, 2019.

MOREIRA, F. D.; SARAIVA, C. B.; BOTTREL, S. E. C.; DIAS, E. H. O. Feasibility study of constructed wetlands for the treatment of dairy effluents. **Revista AIDIS**, Belo Horizonte, v. 14, n. 1, p. 176–193, 2021.

MUDGIL, D.; BARAK, S. Dairy-Based Functional Beverages, in: Milk-Based Beverages. **Woodhead Publishing**, Mehsana, v. 9, p. 67-93. 2019.

NUNES, I. V. D. O.; INOUE, C. H. B.; SOUSA, A. E. R.; DE CARVALHO, J. C. M.; DA ANUNCIÇÃO GOMES, A. M. D. A.; MATSUDO, M. C. Tertiary treatment of dairy industry wastewater with production of *Chlorella vulgaris* biomass: evaluation of effluent dilution. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**. Itajubá, v. 66, n. 2, p. 365–373, 2021.

OLIVEIRA, J. F.; FIA, R.; FIA, F. R.; RODRIGUES, F. N.; DE OLIVEIRA, L. F. C.; DE AL FILHO, L. C. Efeitos da água residual de laticínios na respiração basal do solo, produtividade e remoção de nutrientes por Tifton 85 (*Cynodon sp.*). **Revista de Ciências Agrárias**, Lavras, v. 42, n. 1, p. 151–160, 2019.

PANESAR, P. S.; KUMARI, S.; PANESAR, R. Biotechnological approaches for the production of prebiotics and their potential applications. **Critical Reviews in Biotechnology**, Punjab, v. 33, n. 4, p. 345–364, 2013.

PIRES, T. D. A.; CARDOSO, V. L.; BATISTA, F. R. X. Feasibility of *Chlorella vulgaris* to waste products removal from cheese whey. **International Journal of Environmental Science and Technology**, Uberlândia, p. 1-10, 2021.

RABELO, W. A.; ALVES, M. A. de C. Implantação de sistema de gestão ambiental em uma indústria de laticínios. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 19., 2016, Campinas. **Anais [...]**. Campinas: CBAS, 2016. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28785/18677>. Acesso em: 18 fev. 2023.

RACHOW, Luciana Maria. **Produção de β -galactosidase a partir do permeado de soro de leite utilizando a levedura *Kluyveromyces marxianus* ATCC 36097**. 2019. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, PR, 2019.

RAMOS, M. D. N.; Santana, C. S.; Velloso, C. C. V.; Da Silva, A. H. M.; Magalhães, F.; Aguiar, A. A review on the treatment of textile industry effluents through Fenton processes. **Process Safety and Environmental Protection**, Itajubá, v. 155, p. 366-386, 2021.

RAMOS, M. D. N.; Rangel, A. S.; Azevedo, K. S.; Melo, M. G. B.; Oliveira, M. C.; Watanabe, C. M. U.; Aguiar, A. Characteristics and treatment of Brazilian pulp and paper mill effluents: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, Itajubá, v. 194, p. 651, 2022.

ROCHA, N. R. D. A. F.; BARROS, M. A.; FISCHER, J.; COUTINHO FILHO, U.; CARDOSO, V. L. Ethanol production from agroindustrial biomass using a crude enzyme complex produced by *Aspergillus niger*. **Renewable Energy**, Uberlândia, v. 57, p. 432-435, 2013.

RODRIGUES, Luciano dos Santos. Desempenho de uma estação de tratamento de efluentes de laticínio quanto ao atendimento à legislação ambiental. **XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, São Pedro, p. 4, 2015.

RODRIGUES-SOUSA, A. E.; NUNES, I. V.; MUNIZ-JUNIOR, A. B.; CARVALHO, J. C. M.; MEJIA-DA-SILVA, L. C.; & MATSUDO, M. C. Nitrogen supplementation for the production of *Chlorella vulgaris* biomass in secondary effluent from dairy industry. **Biochemical Engineering Journal**, Itajubá, v. 165, n., 2021.

ROMÃO, B. B.; SILVA, F. T. M.; COSTA, H. C. D. B.; DO CARMO, T. S.; CARDOSO, S. L.; FERREIRA, J. D. S.; CARDOSO, V. L. Alternative techniques to improve

hydrogen production by dark fermentation. **3 Biotech**, Uberlândia, v. 9, n. 18, p. 1-8, 2019.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L. **Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações**, 2ª. Edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2013.

SANTOS PEREIRA, M. D.; BORGES, A. C.; MUNIZ, G. L.; HELENO, F. F.; FARONI, L. R. D. A. DOF/DAF comparison for the treatment of milk industry wastewater, **Revista Ambiente e Água**, Viçosa, v. 15, n. 5, 2020b.

SANTOS PEREIRA, M.; BORGES, A. C.; MUNIZ, G. L.; HELENO, F. F.; FARONI, L. R. D. A. Dissolved air flotation optimization for treatment of dairy effluents with organic coagulants. **Journal of Water Process Engineering**, Viçosa, v. 36, n. March, p. 101270, 2020a.

SANTOS, C. **Estatística Descritiva – Manual de Autoaprendizagem**, Edições Sílabo, Lisboa 2007.

SANTOS, V. A.; RAMOS, J. D.; OLIVEIRA, M. C.; MAGALHÃES, D. S.; FAGUNDES, M. C. P.; LUIZ, P. H. D. Formation of papaya seedlings using dairy wastewater in the substrate. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 498–504, 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. **Parecer Único N° 0501044 (2019b)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/3-Gbqcg3bln6zIUe-MMGUEZYiHhbL-dD.pdf>. Acesso em 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. **Parecer Único N° 0518236 (2019f)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/hS2fhiErbWrs-F5PlfnliITZtTgi1Yru.pdf>. Acesso em 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. **Parecer Único N° 0534753 (2019e)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/LQp4iDGjVzaLYeF4ssh-DNHoylD79gZI.pdf>. Acesso em 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. **Parecer Único N° 993820 (2016a)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/qXlwZziinTF9qdE3-dKfwQyRaXXyE6zj.pdf>. Acesso em 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. **Parecer Único N° 0848505 (2016d)**, Minas Gerais. Disponível em:

<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/tHRcLophCfpVERDNzF-A0AEmoq7oFMDS.pdf>. Acesso em 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0779246 (2016e)**, Minas Gerais. Disponível em: http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/Yto_o4F4oFs6oFUDBbiYzAn264KEAcQh.pdf. Acesso em 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **1194007 (2016c)**, Minas Gerais. Disponível em: https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/w5mSu2VE_MEUKnE2HwbgQJ6iwyQi8wcJ.pdf. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0712088 (2018b)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/FikFcGvcEBIhNZ4twpb6OTPPeOv7ELWx.pdf>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **24193171 (2020)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/Mo3dFbMuY9q-XkBttY6dEka87XwgDGca.pdf>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0889615 (2016b)**, Minas Gerais. Disponível em: http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/UsCwFDF7aqNw6a4iNgRN0_UHSDvm5GWN.pdf. Acesso em: 24 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0049967 (2018a)**, Minas Gerais. Disponível em: http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/Ws6NPmvsFYVRNpOMSSRb_yXs49RntEp-.pdf. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0161530 (2021b)**, Minas Gerais. Disponível em: https://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/Tf_jm644WvOOVyzQansNAWUrtPqlQ8E.pdf. Acesso em: 24 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0502446 (2019g)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/FJyOTaDOHgTQVJm5475X3rBgF2ar3Em2.pdf>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0079080 (2019d)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/yUSH5GI5LE7WCfa6OSkRs5ae30ZB5nXI.pdf>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0133059 (2019a)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/PWVoYms69hFEhM4WNxWkNyjuBSDoBWag.pdf>. Acesso em: 24 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **24380965 (2021a)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/PwwgSckgfl06F5yxrBaMR1We8OjZlsqp.pdf>. Acesso em: 24 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0358363 (2019c)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/f6cbYFHqDpy37GIZSmLQBria-II08G.pdf>. Acesso em: 20 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0302472 (2017)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/reunioes/uploads/NkzfFejwrpb6Za0liUy0sphbIREPeQEd.pdf>. Acesso em: 05 de ago. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0809585 (2018c)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/Mo3dFbMuY9q-XkBttY6dEka87XwgDGca.pdf>. Acesso em: 28 de jul. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0837458 (2018d)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/eY-GVUpWIBjv5fYA6-WKv4ORaAbVxdhF.pdf>. Acesso em: 04 de set. de 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD. Parecer Único N° **0259525 (2018e)**, Minas Gerais. Disponível em: <http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/uploads/IBIMaOgljS16cbNEjO9HVAatvdKDyV5J.pdf>. Acesso em: 04 de set. de 2022.

SERAJUDDIN; CHOWDHURY, A.; FERDOUS, T.; Correlation among some global parameters describing Organic Pollutants in river water: a case study. **International Journal of Research - Granthaalayah**, Sylhet, v. 6, n. 7, p. 278–289, 2018.

SILVA, A. C. F. M.; PATERNIANI, J. E.; ROSTON, D. M.; FERNANDES, T. B. Tratamento de resíduo líquido de laticínios utilizando caixas de gordura e reator anaeróbio compartimentado seguido de leitos cultivados. **Revista Agroambiental**, Inconfidentes, v. 7, n. 3, p.11-30, 2015.

SILVA, E. A.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. D. R.; SOARES, F. M.; SANTOS, V. A. D.; FERREIRA, E. A. Adição de água residuária de laticínio em substrato para produção de mudas de maracujazeiro 'amarelo'. **Revista Agrarian**, Barbacena, v. 7, p. 49–59, 2014.

SILVA, R. R; DE SIQUEIRA, E. Q; NOGUEIRA, I. S. Environmental impacts of dairy effluent on waterway in the Pomba river basin. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio Pomba, v. 23, n. 2, p. 217–228, 2018.

SIQUEIRA, J. C.; ASSEMAN, P.; SINISCALCHI, L. A. B.. Microbial dynamics and methanogenic potential of co-digestion of sugarcane vinasse and dairy secondary effluent in an upflow anaerobic sludge blanket reactor. **Bioresource Technology**, Lavras, v. 361, n. 127654, 2022.

SLAVOV, A. K. General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater -a review. **Food Technology and Biotechnology**, Plovdiv, v. 55, n. 1, p. 14–28, 2017.

SOUSA, A. E. R.; NUNES, I. V.; MUNIZ-JUNIOR, A. B.; CARVALHO, J. C. M.; MEJIA-DA-SILVA, L. C.; MATSUDO, M. C. Nitrogen supplementation for the production of *Chlorella vulgaris* biomass in secondary effluent from dairy industry. **Biochemical Engineering Journal**, Itajubá, v. 165, p. 107818-10824, 2021.

SOUSA, D. D. P.; PINTO, C. F.; TONHELA, M. A.; GRANATO, A. C.; MOTHEO, A. D. J.; LIMA, A. D. F.; MALPASS, G. R. P. Treatment of real dairy wastewater by electrolysis and photo-assisted electrolysis in presence of chlorides. **Water Science and Technology**, Uberaba, v. 80, n. 5, p. 961–969, 2019.

SOUZA, Junélia Alves De. **Tratamento De Efluentes: um estudo sobre a viabilidade de utilização de coagulantes naturais em laticínios no município de Ituiutaba-Mg**. 2022. 61 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2022.

SOUZA, Rafael Oliveira. **Desenvolvimento e caracterização de bebida láctea concentrada e fermentada, a base de soro de leite**. 2019. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia em Alimentos) - Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas, Rio Pomba, MG, 2019.

SOUZA, R. O.; SILVA, V. R. O.; MARTINS, J. M.; COSTA, F. F.; DE SÁ, L. F. C.; DA SILVA, C. R. Development and characterization of concentrated and fermented whey beverages. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Visconde do Rio Branco, v. 76, n. 1, p. 28-39, 2021.

VALENTE, G. F. S.; MENDONÇA, R. C. S.; PEREIRA, J. A. M. The efficiency of electrocoagulation using aluminum electrodes in treating wastewater from a dairy industry. **Ciência Rural**, Barbacena, v. 45, n. 9, p. 1713–1719, 2015.

VALENTE, G. F. S.; MENDONÇA, R. C. S.; PEREIRA, J. A. M.; FELIX, L. B. Artificial neural network prediction of chemical oxygen demand in dairy industry effluent treated by electrocoagulation. **Separation and Purification Technology**, Minas Gerais, v. 132, p. 627–633, 2014.

VALENTE, G. F. S.; SANTOS MENDONÇA, R. C. PEREIRA, J. A. M.; FELIX, L. B. The efficiency of electrocoagulation in treating wastewater from a dairy industry, Part I: Iron electrodes. **Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes**, Viçosa, v. 47, n. 4, p. 355–361, 2012.

VALENTE, G.F. S.; MENDONÇA, R. C. S.; FÉLIX, L. B. Electrocoagulation using zinc electrodes for dairy industry wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**, Barbacena, v. 206, p. 58–65, 2020.

VIANA, C. C.; MENDONÇA, H. V.; OTENIO, M. H. Efluente da indústria de laticínios: qual tecnologia aplicar para tratamento. **Indústria de Laticínios**. Juiz de Fora, v. 25, p. 68–71, 2021.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, 4th ed., Editora UFMG, Minas Gerais, 2014.