



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E DO
AUTOMONITORAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS EM DUAS INDÚSTRIAS DE
LATICÍNIOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

ANA LUISA SALES PEREIRA

BELO HORIZONTE
2016

ANA LUISA SALES PEREIRA

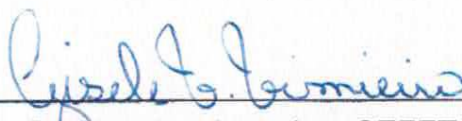
AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E DO
AUTOMONITORAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS EM DUAS INDÚSTRIAS DE
LATICÍNIOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

Orientadora: Profa. Dra. Gisele Vidal Vimieiro
Coorientador: Ms. Felipe Vigato Prado



Aluna
Ana Luisa Sales Pereira



Professora orientadora CEFET- MG
Gisele Vidal Vimieiro

BELO HORIZONTE
2016

ANA LUISA SALES PEREIRA

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO E DO
AUTOMONITORAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS EM DUAS INDÚSTRIAS DE
LATICÍNIOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais
como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

Data de aprovação:

Banca Examinadora:

Gisele Vidal Vimieiro – Presidente da Banca Examinadora
Prof.^a Dra. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CEFET/MG -
Orientadora

Felipe Vigato Prado
Ms. em Ecologia – BH Hidro

Rosa Carolina Amaral
Ms. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – FEAM

Wagner Guadagnin Moravia
Prof. Dr. em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CEFET/MG

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que tem cuidado de mim todos os dias, dando-me sabedoria, saúde, serenidade e força para realizar meus projetos de vida.

Ao CEFET-MG, especialmente ao Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, pela excelente formação e pelas oportunidades concedidas.

À professora Gisele Vidal Vimieiro, pela oportunidade, dedicação e ensinamentos durante um ano de orientação.

Ao meu coorientador Felipe Vigato Prado, pela ótima convivência e valiosa colaboração na realização desse trabalho.

À professora Valéria Zago, pelos ensinamentos e orientações.

À equipe da GEDEF-FEAM, por todo o apoio na realização deste trabalho.

À equipe da SUPRAM Central e do DIINF, por disponibilizarem informações fundamentais para que esse estudo fosse realizado.

Aos funcionários da Empresa A e da Empresa B, por cederem o espaço e seu valioso tempo, sendo fundamentais para que esse trabalho pudesse acontecer.

Aos meus pais e irmão, pelo amor, estímulo e conselhos que levarei por toda a vida.

Ao meu namorado Lucas, pela compreensão, companheirismo e amor.

À minha amiga Natália, pelo apoio e pela contribuição nesse trabalho.

Às minhas amigas Gabriela, Thayrinne e Raíssa, que me ajudaram nessa caminhada e foram fundamentais para que eu chegasse até o fim.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste trabalho.

RESUMO

As indústrias de laticínios ocupam lugar de destaque no cenário econômico do Brasil, mas apesar da sua importância, essa atividade ocasiona significativos impactos ao meio ambiente, dentre eles a poluição das águas pelo lançamento de efluentes líquidos não tratados. Em virtude da elevada carga orgânica desses efluentes, é fundamental que eles sejam tratados e seus efeitos negativos minimizados. Para isso, é essencial que as Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) operem de forma adequada. Assim, esse trabalho objetivou avaliar o sistema de tratamento e o automonitoramento de efluentes líquidos adotados em duas indústrias de laticínios do estado de Minas Gerais, de forma a comparar os resultados encontrados, e apontar possíveis pontos de melhoria. Com esse fim, consultaram-se os dados contidos nos processos de licenciamento ambiental das indústrias de laticínios escolhidas, em especial os relatórios de automonitoramento da estação; aplicou-se um questionário à empresa e realizou-se uma visita técnica ao empreendimento. Aplicou-se também o Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios (IAQML), além de se avaliar os relatórios de análises das águas superficiais receptoras desses efluentes. Os resultados obtidos indicaram que os sistemas de tratamento adotados pela Empresa A e pela Empresa B apresentaram um desempenho satisfatório no atendimento aos limites de lançamento de efluentes estabelecidos nas legislações vigentes. Entretanto, no caso da Empresa A, a geração de odor causa muita reclamação por parte dos moradores da região e há um alto teor de sólidos sedimentáveis no efluente tratado. Já na Empresa B, deve-se atentar para os níveis elevados de sólidos suspensos. De forma geral, a ETE da Empresa A (Sistema de Lodos Ativados) apresentou melhor desempenho no tratamento dos efluentes que a ETE da Empresa B (Sistema Filtro Anaeróbio e Lagoa Aerada Facultativa). Verificou-se também que o lançamento de efluentes, tanto da Empresa A quanto da Empresa B, não tem causado diferenças significativas na qualidade do corpo d'água, com exceção do nível de cloretos, no caso da Empresa A. Ainda assim, o corpo receptor dos efluentes da Empresa A apresenta alto grau de deterioração, devendo ser tomadas medidas de urgência, por parte de todos os atores envolvidos, para garantir a melhoria de sua qualidade ambiental.

Palavras-Chave: ETE. Laticínios. Efluente Líquido. Automonitoramento.

ABSTRACT

The dairy industries have a prominent place in the economic scenario of Brazil, but despite its importance, this activity causes significant environmental impacts, including water pollution by the release of untreated wastewater. Given the high organic load of these effluents, the treatment is essential so the negative effects are minimized. For this, it is crucial that the Effluent Treatment Plants (STPs) operate properly. Thus, this study aimed to evaluate the treatment system and self-monitoring of wastewater adopted in two dairy industries in the state of Minas Gerais, in order to compare the results found, and to identify possible areas for improvement. For this purpose, the data contained in the environmental licensing process of dairies chosen, in particular self-monitoring reports from the station, were consulted. A survey was applied to each company and a technical visit to the enterprises were held. The Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios (IAQML) was also applied and in order to evaluate the reports of analysis on surface water receiving these effluents. The results indicated that the treatment systems adopted by both Companies, A and B had satisfactory performance in meeting the discharge limits effluent established in current legislation. However, in the case of Company A, the generation of odor causes a lot of complaints from residents in the region and there is a high settleable solids in the treated effluent. In the Company B, attention should be paid to the high levels of suspended solids. Overall, Company A's STP (System Activated Sludge) performed better in treatment of effluents in comparison to Company B's (System Anaerobic Filter and Aerated Lagoon Facultative). As for the release of effluents, both Companies did not cause significant differences in the quality of the water body except for the chloride levels in Company A's case. Still, the receiving body of Company A's effluent has a high degree of deterioration, should emergency measures be taken by all stakeholders to ensure the improvement of environmental quality.

Keywords: STP. Dairies. Wastewater. Self-monitoring.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Diagrama geral da produção de laticínios..... | 22 |
| Figura 2 - Recepção do leite à granel em caminhões refrigerados | 24 |
| Figura 3 - Fluxograma do processo produtivo da fabricação da manteiga..... | 27 |
| Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo da fabricação do doce de leite | 28 |
| Figura 5 - Fluxograma do processo produtivo da fabricação de iogurte tradicional, batido e líquido..... | 29 |
| Figura 6 - Fluxograma básico do processo produtivo da fabricação de queijo..... | 31 |
| Figura 7 - Peneiramento – Tratamento preliminar..... | 39 |
| Figura 8 - Fluxograma típico de um sistema com reator UASB..... | 44 |
| Figura 9 - Esquema de funcionamento de um filtro biológico..... | 45 |
| Figura 10 - Fluxograma típico de um sistema de Filtro Biológico Percolador..... | 46 |
| Figura 11 - Fluxograma de um sistema de Lodos Ativados Convencional..... | 50 |
| Figura 12 - Fluxograma das unidades que compõem a ETE da Empresa A..... | 69 |
| Figura 13 - Caixa elevatória e gradeamento grosso na ETE da Empresa A | 70 |
| Figura 14 - Peneiramento Fino na ETE da Empresa A | 70 |
| Figura 15 - Tanque de Equalização na ETE da Empresa A..... | 70 |
| Figura 16 - Tanque de Reação (Coagulação e Floculação) na ETE da Empresa A .. | 70 |
| Figura 17 - Flotador na ETE da Empresa A | 71 |
| Figura 18 - Tanques de Aeração na ETE da Empresa A | 71 |
| Figura 19 - Decantador Secundário na ETE da Empresa A..... | 71 |
| Figura 20 - Lançamento do efluente tratado no córrego | 73 |
| Figura 21 - Pátio de lavagem dos caminhões na Empresa B..... | 78 |
| Figura 22 - Fluxograma com as unidades da ETE da Empresa B..... | 79 |
| Figura 23 - Entrada do efluente industrial bruto na estação de tratamento da Empresa B..... | 80 |
| Figura 24 - Caixa de Gordura da Empresa B | 80 |
| Figura 25 - Tanque de Equalização da Empresa B..... | 81 |
| Figura 26 - Flotador da Empresa B | 81 |
| Figura 27 - Filtro Anaeróbio (ao fundo) e Flotador (à esquerda) da Empresa B | 81 |
| Figura 28 - Lagoa Aerada Facultativa da Empresa B..... | 82 |
| Figura 29 - Leito de Secagem da Empresa B..... | 82 |
| Figura 30 - Tanque Pulmão da Empresa B, em construção..... | 84 |
| Figura 31 - Tanques de Coagulação e Floculação..... | 84 |
| Figura 32 - Fluxograma da ETE que atualmente está em operação na Empresa B .. | 85 |

| | |
|--|-----|
| Figura 33 - Vista geral da ETE da Empresa B, conforme configuração atual | 86 |
| Figura 34 - Eficiência de remoção de DBO e DQO no período de junho de 2008 a dezembro de 2015 para a Empresa A..... | 90 |
| Figura 35 - Eficiência de remoção de DBO e DQO no período de junho de 2008 a dezembro de 2014 para a Empresa B..... | 93 |
| Figura 36 - Valores encontrados para DBO nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A | 107 |
| Figura 37 - Valores encontrados para sólidos suspensos nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A | 108 |
| Figura 38 - Valores encontrados para nitrogênio amoniacal nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A | 108 |
| Figura 39 - Valores encontrados para cloretos nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A | 109 |
| Figura 40 - Valores encontrados para fósforo nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A | 109 |
| Figura 41 - Valores encontrados para pH nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A | 110 |
| Figura 42 - Valores encontrados para temperatura nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A | 111 |
| Figura 43 - Valores encontrados para DBO nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B | 112 |
| Figura 44 - Valores encontrados para turbidez nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B | 113 |
| Figura 45 - Valores encontrados para pH nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B | 113 |
| Figura 46 - Valores encontrados para oxigênio dissolvido (OD) nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B..... | 114 |
| Figura 47 - Valores encontrados para temperatura nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B | 115 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Origem dos efluentes líquidos industriais em laticínios | 33 |
| Tabela 2 - Valores médios de DBO dos efluentes líquidos de diferentes unidades industriais de laticínios | 36 |
| Tabela 3 - Características médias dos efluentes líquidos industriais de diferentes tipos de laticínios | 37 |
| Tabela 4 - Concentração média e eficiência típica de remoção de certos poluentes através do sistema de Lodos Ativados Convencional | 51 |
| Tabela 5 - Alternativas de aproveitamento do soro para as indústrias de laticínios .. | 53 |
| Tabela 6 - Definição dos indicadores que compõem o IAQML | 54 |
| Tabela 7 - Subindicadores do indicador 1 (QE) do IAQML | 55 |
| Tabela 8 - Subindicadores do indicador 2 (CP) do IAQML | 56 |
| Tabela 9 - Faixas de qualidade do IAQML | 63 |
| Tabela 10 - Classificação quanto ao porte e potencial poluidor, de acordo com a DN COPAM nº 74/2004 | 65 |
| Tabela 11 - Produtos produzidos na Empresa A e a participação percentual de cada um deles no volume de leite recebido | 66 |
| Tabela 12 - Origem dos efluentes na Empresa A e a contribuição percentual de cada ponto de geração em determinado mês | 68 |
| Tabela 13 - Dimensões das unidades da ETE da Empresa A | 72 |
| Tabela 14 - Programa de automonitoramento de efluentes líquidos da Empresa A . | 75 |
| Tabela 15 - Dimensões de algumas das unidades que compõem a ETE da Empresa B | 83 |
| Tabela 16 - Programa de automonitoramento de efluentes líquidos da Empresa B . | 88 |
| Tabela 17- Resultado do Indicador 1 (QE) para a Empresa A | 89 |
| Tabela 18 - Resultado do Indicador 1 (QE) para a Empresa B | 92 |
| Tabela 19 - Resultado do Indicador 2 (CP) para a Empresa A | 95 |
| Tabela 20 - Proporção dos parâmetros monitorados em relação ao total de relatórios da Empresa A | 96 |
| Tabela 21 - Resultado do Indicador 2 (CP) para a Empresa B | 98 |
| Tabela 22 - Proporção dos parâmetros monitorados em relação ao total de relatórios da Empresa B | 99 |
| Tabela 23 - Resultado do Indicador 3 (AL) para a Empresa A | 102 |
| Tabela 24 - Resultado do Indicador 3 (AL) para a Empresa B | 103 |
| Tabela 25 - Resultado do final do IAQML para a Empresa A | 105 |
| Tabela 26 - Resultado do final do IAQML para a Empresa B | 106 |
| Tabela 27 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença | |

| | |
|--|-----|
| significativa dos parâmetros de qualidade da água do corpo receptor da Empresa A | 134 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Tabela 28 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença significativa dos parâmetros de qualidade da água do corpo receptor da Empresa B | 135 |
|--|-----|

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQ - Associação Brasileira das Indústrias de Queijo
CCS - Contagem de Células Somáticas
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CIP - *Clean in Place*
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DIINF - Divisão de Documentação e Informação
DQO - Demanda Química de Oxigênio
DN - Deliberação Normativa
ETA - Estação de Tratamento de Água
ETE - Estação de Tratamento de Efluentes
FBP - Filtro Biológico Percolador
FEAM - Fundação Estadual de Meio Ambiente
FIEMG - Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
G – Gramas
H - Horas
HTST - *High Temperature, Short Time*
IAQML - Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IN-51 - Instrução Normativa Nº 51
IN-62 - Instrução Normativa Nº 62
LTLT - *Low Temperature, Long Time*
MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MERCOSUL - Mercado Comum do Sul
NBR - Norma Brasileira
OD - Oxigênio Dissolvido
PCA - Plano de Controle Ambiental
pH - Potencial Hidrogeniônico
PNMQL - Programa Nacional de Melhoria da Qualidade do Leite
RCA - Relatório de Controle Ambiental

RIISPOA - Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal

RMMG - Rede Metrológica de Minas Gerais

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUPRAM - Superintendência Regional de Meio Ambiente

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

TDH - Tempo de Detenção Hidráulica

UASB - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UHT – *Ultra High Temperature*

SUMÁRIO

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | DEFINIÇÃO DO PROBLEMA | 15 |
| 2 | MOTIVAÇÃO | 17 |
| 3 | OBJETIVOS | 19 |
| 3.1 | Objetivo geral | 19 |
| 3.2 | Objetivos específicos | 19 |
| 4 | ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 20 |
| 4.1 | Contexto da atividade de laticínios no Brasil | 20 |
| 4.2 | Caracterização do processo industrial de laticínios | 21 |
| 4.2.1 | <u>Composição do leite</u> | 22 |
| 4.2.2 | <u>Recepção do leite</u> | 24 |
| 4.2.3 | <u>Resfriamento do leite</u> | 25 |
| 4.2.4 | <u>Tratamento do leite pelo calor</u> | 25 |
| 4.2.5 | <u>Fabricação de manteiga</u> | 26 |
| 4.2.6 | <u>Fabricação de doce de leite</u> | 27 |
| 4.2.7 | <u>Fabricação de iogurtes</u> | 28 |
| 4.2.8 | <u>Fabricação de queijos</u> | 30 |
| 4.3 | Caracterização da poluição por efluentes líquidos de laticínios | 31 |
| 4.4 | Mecanismos para o controle da poluição por efluentes líquidos na indústria de laticínios | 38 |
| 4.4.1 | <u>Tratamento preliminar de efluentes</u> | 38 |
| 4.4.2 | <u>Tratamento primário de efluentes</u> | 40 |
| 4.4.3 | <u>Tratamento secundário de efluentes</u> | 41 |
| 4.4.3.1 | <i>Filtro Anaeróbio</i> | 42 |
| 4.4.3.2 | <i>Reator UASB</i> | 42 |
| 4.4.3.3 | <i>Filtro Biológico Percolador (FBP)</i> | 44 |
| 4.4.3.4 | <i>Lagoas de Estabilização</i> | 46 |
| 4.4.3.5 | <i>Lodos ativados</i> | 49 |
| 4.4.4 | <u>Reutilização do soro do leite</u> | 52 |
| 4.5 | Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios – IAQML | 53 |
| 4.5.1 | <u>Indicador 1 (QE) - Qualidade do efluente industrial tratado</u> | 54 |
| 4.5.2 | <u>Indicador 2 (CP) - Cumprimento do programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais</u> | 55 |
| 4.5.3 | <u>Indicador 3 (AL) - Adequação dos laboratórios</u> | 56 |
| 4.5.4 | <u>Indicador 4 (DS) - Destino do soro</u> | 57 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.5.5 | <u>Aplicação do IAQML pela FEAM</u> | 57 |
| 5 | METODOLOGIA | 59 |
| 5.1 | Revisão bibliográfica | 59 |
| 5.2 | Escolha dos empreendimentos | 59 |
| 5.3 | Visitas técnicas e aplicação do questionário | 60 |
| 5.4 | Consultas aos dados das Empresas | 60 |
| 5.5 | Aplicação do IAQML | 61 |
| 5.5.1 | <u>Período de análise dos relatórios de automonitoramento de efluentes</u> 61 | |
| 5.5.2 | <u>Cálculo das notas do IAQML</u> | 61 |
| 5.6 | Análise da qualidade de água no corpo receptor dos efluentes | 63 |
| 5.6.1 | <u>Período de análise dos relatórios de automonitoramento de águas superficiais</u> 63 | |
| 5.6.2 | <u>Análises dos dados de qualidade das águas superficiais</u> | 63 |
| 6 | RESULTADOS | 65 |
| 6.1 | Caracterização da Empresa A | 65 |
| 6.1.1 | <u>Processo produtivo</u> | 66 |
| 6.1.2 | <u>Consumo de água</u> | 66 |
| 6.1.3 | <u>Origem dos efluentes líquidos</u> | 67 |
| 6.1.4 | <u>Características do sistema de tratamento de efluentes</u> | 68 |
| 6.1.5 | <u>Programa de automonitoramento definido em licença ambiental</u> . | 74 |
| 6.2 | Caracterização da Empresa B | 75 |
| 6.2.1 | <u>Processo produtivo</u> | 76 |
| 6.2.2 | <u>Consumo de água</u> | 77 |
| 6.2.3 | <u>Origem dos efluentes líquidos</u> | 77 |
| 6.2.4 | <u>Características do sistema de tratamento</u> | 78 |
| 6.2.5 | <u>Programa de automonitoramento definido em licença ambiental</u> . | 87 |
| 6.3 | Aplicação do IAQML | 88 |
| 6.3.1 | <u>Resultado do Indicador 1 (QE) - Qualidade do efluente industrial tratado</u> 88 | |
| 6.3.2 | <u>Resultado do Indicador 2 (CP) - Cumprimento do programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais</u> | 94 |
| 6.3.3 | <u>Resultado do Indicador 3 (AL) - Adequação dos laboratórios</u> | 101 |
| 6.3.4 | <u>Resultado do Indicador 4 (DS) - Destino do soro</u> | 104 |
| 6.3.5 | <u>Resultado final do IAQML</u> | 104 |
| 6.4 | Análise da qualidade de água no corpo receptor dos efluentes | 106 |

| | |
|---|------------|
| 7 CONCLUSÕES | 117 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 120 |
| APÊNDICE A | 128 |
| APÊNDICE B | 133 |
| APÊNDICE C | 134 |
| APÊNDICE D | 135 |

1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Segundo von Sperling (2014), a poluição das águas ocorre quando sua natureza é alterada ou os seus legítimos usos são prejudicados, em virtude da adição de substâncias ou de formas de energia. Essa poluição pode ocasionar diversos efeitos nos corpos d'água, como problemas estéticos, consumo de oxigênio, mortandade de peixes, crescimento excessivo de algas, doenças de veiculação hídrica, maus odores, entre muitos outros.

A poluição das águas pode ocorrer de várias formas, podendo ser: poluição térmica, quando lançados efluentes de elevadas temperaturas; poluição física, devido à descarga com alta concentração de sólidos; poluição biológica, resultante da presença de bactérias patogênicas, vírus, entre outros organismos; e poluição química, ocasionada pelo grande aporte de matéria orgânica, que é uma fonte de alimento para bactérias, provocando um aumento de suas atividades e a conseqüente redução do oxigênio dissolvido (BENN; MCAULIFFE, 1981 *apud* ABRAHÃO, 2006).

Os efluentes, quando lançados em corpos d'água, correspondem a uma fonte de poluição pontual, ou seja, atingem o corpo receptor de forma concentrada no espaço (von SPERLING, 2014). Em especial os efluentes de laticínios, onde a elevada carga orgânica é uma característica comum. Devido a isso, ao serem lançados nos corpos d'água sem o tratamento adequado, reduzem a disponibilidade do oxigênio dissolvido, podendo causar danos significativos ao ecossistema aquático (VILLA *et al.*, 2007).

Quando se realiza a produção de queijo no laticínio, ocorre a geração do soro que, segundo a Deliberação Normativa (DN) nº 041 de 06 de janeiro de 2000, não pode ser lançado em cursos d'água. Isso porque sua carga orgânica é ainda mais elevada que a dos demais efluentes dessa indústria, não devendo também ser misturado a eles, de forma a não comprometer a eficiência do tratamento. (MACHADO *et al.*, 2002).

Em virtude do problema definido, esse trabalho buscou avaliar a eficiência do sistema de tratamento de efluentes líquidos em duas indústrias de laticínios do

estado de Minas Gerais, bem como analisar a execução do programa de automonitoramento definidos nas condicionantes de automonitoramento de suas licenças ambientais.

2 MOTIVAÇÃO

A cadeia agroindustrial do leite no Brasil possui grande importância econômica e também social. Através dessa atividade, é gerado emprego e renda para parte significativa da população, sendo uma receita importante para milhares de produtores familiares (ALMEIDA, 2001; MACHADO *et al.*, 2002). Segundo o último Censo Agropecuário realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006), havia no Brasil 1.350.809 estabelecimentos de produção e venda de leite. Além disso, cabe ressaltar a influência da pecuária do leite no setor de distribuição e comercialização de alimentos e a importância nutricional desse produto, visto que o leite é rico em uma grande quantidade de nutrientes essenciais ao crescimento e a manutenção de uma vida saudável (MACHADO *et al.*, 2002; VILELA, 2002).

Segundo FIEMG e FEAM (2015), o Brasil ocupava, em 2013, a 3ª posição no ranking mundial da produção leiteira, atrás apenas da Índia e dos Estados Unidos, tendo destaque também na produção mundial de leite em pó e queijos. O Sudeste ainda é a maior produtora de leite do país, mas de acordo com SEBRAE (2013), foi observado que essa é a região em que a produção de leite menos cresceu entre os anos de 1990 e 2010. A partir de dados do IBGE (2011), pode-se dizer que Minas Gerais é o maior produtor de leite do Brasil, com 27,6% da produção nacional, destacando-se os municípios de Patos de Minas, Ibiá, Unaí, Patrocínio e Coromandel. Dentro do estado mineiro, na região do Sul de Minas, encontra-se a maior parte dos empreendimentos que realizam a preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios, representando 32% do total do estado (FIEMG e FEAM, 2015).

Apesar do destaque da atividade, diversos processos dessa indústria contribuem para a geração de efluentes líquidos. Assim, é de grande importância que o controle realizado sobre o destino dos efluentes líquidos de laticínios seja eficiente, garantindo o menor impacto possível ao meio ambiente. Em busca desse objetivo, existem legislações ambientais que precisam ser atendidas, como, no caso de Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05

de maio de 2008, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Contudo, a maioria das indústrias de laticínios de Minas Gerais é de pequeno porte e trabalha quase que estritamente de forma artesanal, e por vezes, diante dos inúmeros problemas que pequenas empresas enfrentam no Brasil para se manterem, o controle dos impactos ambientais acaba não sendo uma questão prioritária (MACHADO *et al.*, 2000). Diante disso, é fundamental que sejam mantidos em bom funcionamento os mecanismos adotados para reduzir a poluição, eliminando custos desnecessários gerados pela operação e manutenção inadequadas.

Sendo assim, a motivação do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é estudar um desses mecanismos para redução da poluição por efluentes líquidos, as estações de tratamento de efluentes, buscando avaliá-lo, identificando possíveis pontos de melhoria, devido à importância do setor de laticínios para o país e os significativos impactos que esse setor acarreta no meio ambiente.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho do sistema de tratamento e a execução do automonitoramento de efluentes líquidos em duas indústrias de laticínios do estado de Minas Gerais, de médio potencial poluidor e com sistemas de tratamento distintos, de forma a comparar os resultados encontrados, e apontar possíveis pontos de melhoria.

3.2 Objetivos específicos

- 1) Descrever o processo industrial de laticínios;
- 2) Caracterizar a poluição gerada pelos efluentes líquidos de laticínios;
- 3) Levantar os mecanismos que têm sido adotados nesses empreendimentos para o controle da poluição por efluentes líquidos e suas respectivas características;
- 4) Aplicar o Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios (IAQML) para os laticínios selecionados;
- 5) Avaliar o monitoramento do corpo receptor dos efluentes dos laticínios selecionados;
- 6) Comparar as eficiências dos sistemas de tratamento de efluentes utilizados nos laticínios selecionados;
- 7) Apontar possíveis pontos melhorias na operação das estações de tratamento de efluentes (ETEs) dos empreendimentos selecionados.

4 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Contexto da atividade de laticínios no Brasil

No Brasil, a atividade de produção de leite começou com características extrativistas, mas nos dias atuais, possui uma posição de destaque no cenário econômico nacional, ocupando o 4º lugar no ranking das commodities agropecuárias, considerando o valor da produção (SIQUEIRA *et al.*, 2010).

O setor lácteo brasileiro tem vivenciado grandes transformações nas últimas décadas, que resultaram em mudanças na estrutura da indústria, provocando uma série de fusões e aquisições como estratégia para enfrentar a competitividade provocada pela entrada das empresas estrangeiras no mercado nacional. Entretanto, no ano de 2010, apenas 20% dos produtores eram classificados como grandes, respondendo por 73% da produção nacional, evidenciando ainda a existência de uma heterogeneidade no setor. (CARVALHO, 2010; SIQUEIRA *et al.*, 2010).

A origem das várias transformações que ocorreram na indústria de laticínios é marcada pelo início da década de 1990, mais precisamente a partir de 1991, após a desregulamentação do preço do leite, que desde o ano de 1945 era tabelado, o que ocasionava uma estagnação do setor. Além disso, a abertura do mercado brasileiro, com a criação do Mercado Comum do Sul (MERCOSUL), exigiu do setor investimentos em novas tecnologias, de forma a melhorar a qualidade da produção, visando competir com os produtos importados e posteriormente se inserir no mercado internacional (SIQUEIRA *et al.*, 2010). E por fim, a implementação do Plano Real em 1994 e o fim da inflação trouxeram uma estabilidade de preços aumentando o consumo interno como um todo, inclusive o consumo de produtos derivados do leite (RAUSCHKOLB *et al.*, 2012).

Outra mudança significativa na cadeia produtiva do leite foi através da Instrução Normativa nº 51 (IN-51), de 18 de setembro de 2002 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2002), que determinou regras para a coleta do leite cru, visando melhorar os padrões sanitários. Para isso, ficou

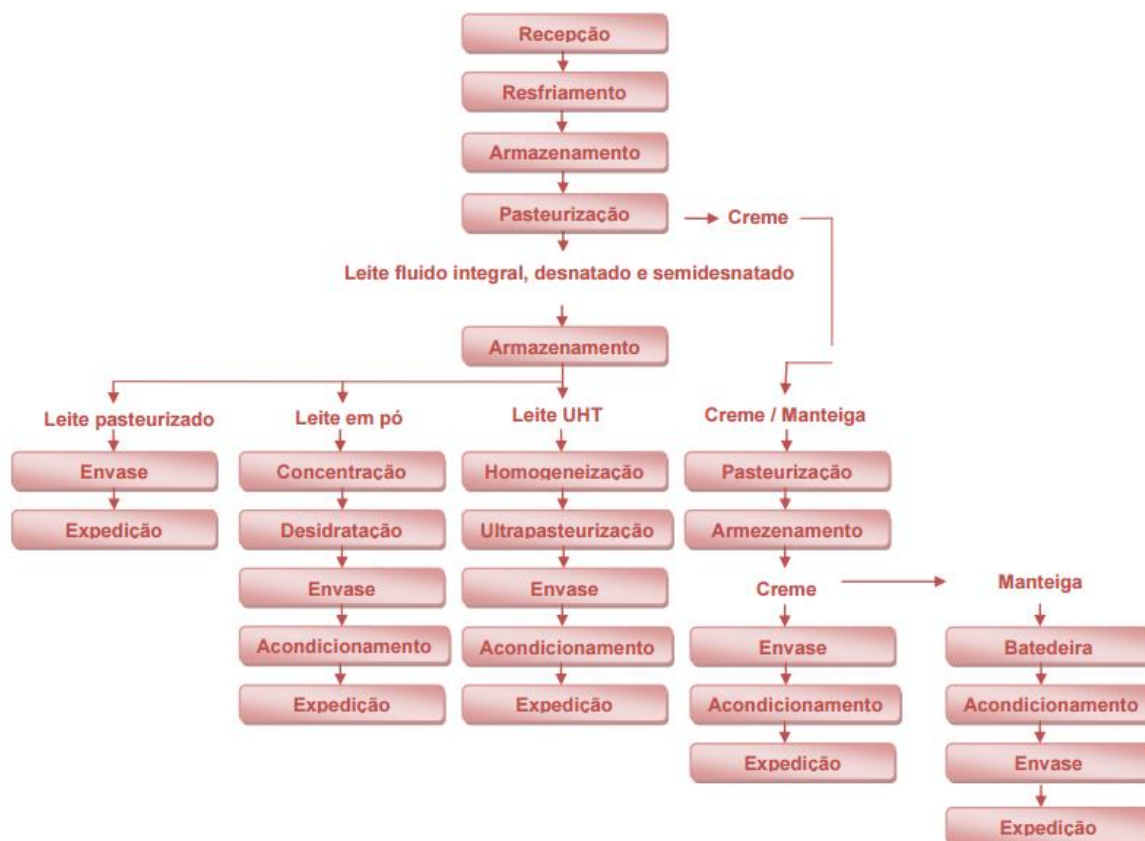
estabelecido que o leite deve ser refrigerado antes de ser transportado e esse transporte deve ser feito a granel, em caminhões que também possuem um sistema de refrigeração (NERO *et al.*, 2004). Assim, à coleta do leite não-resfriado e o transporte pelos leiteiros foi sendo substituída, inserindo o conceito de logística e resultando em redução das rotas de coleta, maior volume transportado em menor tempo e o fechamento dos postos de resfriamento nas indústrias, visto que o leite já é resfriado no processo de coleta (CARVALHO, 2010). Entretanto, o transporte em latões ainda acontece em alguns locais, colocando em maior risco a manutenção da qualidade do produto (FIEMG; FEAM, 2014).

Ainda segundo Carvalho (2010), a redução do número de produtores também tem sido uma característica marcante da organização da agropecuária leiteira no país. Em busca de maiores eficiências, as indústrias de laticínios têm reduzido seu número de fornecedores sem diminuir a produção. Dessa forma, as fazendas estão ficando mais produtivas e o número de propriedades está decrescendo.

4.2 Caracterização do processo industrial de laticínios

No processo industrial de laticínios, algumas atividades iniciais são comuns, como a recepção, resfriamento e pasteurização, sendo elas primordiais para a manutenção da qualidade dos produtos lácteos. Estas etapas estão descritas na Figura 1, bem como alguns processos específicos para a produção do leite pasteurizado, leite em pó, leite *Ultra High Temperature* (UHT), creme de leite e manteiga, que também são similares aos laticínios em geral (FEAM, 2011).

Figura 1 - Diagrama geral da produção de laticínios



Fonte: FEAM (2011) adaptado de Brum *et al.* (2009)

4.2.1 Composição do leite

O leite é formado por uma mistura de componentes, entre eles a gordura emulsificada, caseína, proteínas do soro, lactose e sais minerais em solução aquosa. Diante disso, ele possui uma grande importância nutricional, sendo rico em diversos nutrientes essenciais ao crescimento e a manutenção de uma vida saudável. A indústria de laticínios ainda tem utilizado tecnologias que potencializam o valor nutritivo do produto, como por exemplo, bebidas lácteas enriquecidas com vitaminas e minerais (MACHADO *et al.*, 2002; VILELA, 2002).

Segundo Machado *et al.* (2002), a água é o constituinte mais abundante do leite, representando 87,5% da sua composição. Os 12,5% restantes é denominado extrato seco e representam em média 125 a 130g por litro de leite. Saber a composição do leite é fundamental para a determinação de sua qualidade, pois está relacionado a diversas propriedades organolépticas e industriais (NORO *et al.*, 2006).

Como dito, os constituintes do leite apresentam determinadas propriedades que influem na sua utilização. A gordura, por exemplo, é a fonte de energia do leite, rica em vitaminas A e D e é o principal constituinte da manteiga, sendo também fundamental para a produção de diversos tipos de queijos. Já as proteínas são de grande importância devido ao seu valor nutricional para seres humanos e animais. Além disso, a caseína, a proteína mais representativa do grupo, está diretamente relacionada à produção de queijos, pois é a partir da coagulação da caseína que eles são fabricados. Mas, existe também, no grupo das proteínas do leite, a albumina e a globulina, que não coagulam pela ação do coalho. Dessa forma, elas estão presentes no soro resultante da fabricação de queijos e, ao passar por um pós-processamento, pode vir a ter diversas utilidades. A lactose é um tipo de açúcar, atuando no organismo como fonte energética, e tendo como principal aplicabilidade na indústria de laticínios ser a base para a fermentação láctica, que origina os iogurtes e outros leites fermentados. Por fim, têm-se os sais minerais que desempenham importantes funções no metabolismo do ser humano e na manutenção da estrutura óssea. Já nos processos industriais, os sais de cálcio atuam na coagulação do leite e os citratos na fermentação, estimulando o crescimento dos microrganismos. (MACHADO *et al.*, 2002).

Já a respeito da qualidade do leite, que é influenciada por todas as propriedades anteriormente descritas, Dürr (2004) ainda afirma que, para considerar o leite como de boa qualidade, ele deve ser saboroso, seguro, íntegro e nutritivo, sendo que um leite íntegro é aquele que não sofreu a adição de substâncias, como água, conservantes, redutores, reconstituintes; nem a remoção de componentes; não sofreu deterioração física, química ou microbiológica; e que seja livre de patógenos. Assim, para se ter um leite de boa qualidade, deve-se mantê-lo em um ambiente favorável à sua conservação, de forma a evitar a sua contaminação por microrganismos e a proliferação dos mesmos. Para isso, é necessário evitar a falta de higiene, altas temperaturas e longos períodos de armazenamento.

Além da boa qualidade, um critério que tem sido muito usado para a determinação do valor do leite é a quantidade de gordura e proteínas, em vista de estarem mais diretamente relacionadas com o seu rendimento industrial. Como o potencial genético das vacas e o tipo de alimento ingerido por elas são os principais determinantes na porcentagem das gorduras e proteínas que compõem o leite, a

sua valoração pode ser alterada através do manejo nutricional ou pela exploração da variação genética existente entre os animais (DÜRR, 2004).

De acordo com Machado *et al.* (2002), alguns outros fatores que influenciam a composição e o volume de leite produzido são: a idade e o número de parições da vaca, em geral a produção começa a diminuir a partir da 10ª parição; o período de lactação, que costuma ser de 300 dias após a parição, sendo que nos primeiros 8-10 dias o leite não é aproveitado para processos industriais, pois contém o colostro, fundamental para a proteção dos filhotes; as variações climáticas, como frio repentino ou constante, sendo que no frio constante os animais conseguem se adaptar, se forem bem alimentados, ocorrendo apenas redução no teor de gordura.

4.2.2 Recepção do leite

A recepção do leite nas indústrias (Figura 2) tem como característica a avaliação de sua qualidade através dos Testes de Plataforma, que consistem em diversas análises físico-químicas e microbiológicas para determinar, por exemplo, a acidez, o teor de gordura, a densidade, a resistência térmica do leite através do Teste de Alizarol, o ponto de congelamento do leite por meio da crioscopia, a constatação de fraudes e a contaminação por patógenos (FEAM; FIEMG, 2014; MACHADO *et al.*, 2002).

Figura 2 - Recepção do leite à granel em caminhões refrigerados



Fonte: FEAM (2011)

4.2.3 Resfriamento do leite

A Instrução Normativa Nº 51 (BRASIL, 2002) prevê que o leite deve ser resfriado em tanques de refrigeração, devendo ser recolhido e transportado por caminhões isotérmicos até o laticínio. Ao ser transportado para o estabelecimento industrial, para ser processado, deve apresentar, no momento do seu recebimento, temperatura igual ou inferior a 7°C (FEAM, 2011).

Caso o produtor não tenha como resfriar o leite na fazenda, deverá resfriá-lo em um tanque comunitário ou no próprio laticínio, desde que seja entregue, no máximo, 2 horas após a ordenha, onde também deverá ser mantido em temperatura igual ou inferior a 4°C e poderá permanecer por um período máximo de 36 horas (DÜRR, 2005; FEAM, 2011).

4.2.4 Tratamento do leite pelo calor

O leite, em seu estado natural, é muito perecível, se deteriorando facilmente em virtude da elevada capacidade de multiplicação dos patógenos presentes no produto *in natura*. Assim, ainda que o processo de obtenção do leite seja realizado cumprindo os critérios de higiene, é fundamental que ele passe pelo resfriamento, visando sua conservação, e por uma etapa posterior de tratamento térmico. Esse tratamento tem a capacidade de destruir parcial e/ou totalmente os microrganismos presentes e inibir reações químicas que possam alterar a qualidade do leite. Nos processos em que ocorre apenas a redução da microbiota, e não a eliminação total, é necessário que o leite seja novamente resfriado, após o tratamento térmico (MACHADO *et al.*, 2002; MELLO, 2005).

A escolha do tratamento térmico depende do número inicial de microrganismos, da eficiência de remoção que se deseja obter e do porte do laticínio (MACHADO *et al.*, 2002). Segundo Sanvido (2007), dentre os diversos processos de tratamento existentes, destacam-se a pasteurização lenta, a pasteurização rápida e a esterilização em temperatura ultra alta.

A pasteurização lenta, que acontece na faixa de 62 a 63°C durante 30 a 35 minutos, também conhecida como pasteurização *Low Temperature, Long Time*

(LTLT), por ocorrer em menores temperaturas em relação às demais, demandando mais tempo para o processo acontecer. Segundo Machado *et al.* (2002), a pasteurização lenta não é recomendada para tratamento de grandes volumes de leite.

Já a pasteurização rápida, acontece em alta temperatura e tempo curto, por isso é também conhecida como *High Temperature, Short Time* (HTST). O tratamento é em uma faixa de 72 a 75°C, durante 15 a 20 segundos. Segundo FEAM (2011), nesse processo, a eficiência de redução de bactérias é superior a pasteurização lenta, alcançando 99,5% de remoção, além de possuir um menor consumo de energia

Tem-se também a esterilização em temperatura ultra alta, também conhecida como leite UHT ou ultrapasteurização, em que o tratamento ocorre na faixa de temperatura de 130 a 140°C durante 3 a 5 segundos.

Lançado no Brasil em 1972, o leite longa vida (UHT) é baseado em um processo de tratamento capaz de eliminar todos os microrganismos responsáveis pela deterioração do produto. Assim, o consumidor passa a ter acesso a um produto seguro, com extenso prazo de validade e que pode ser armazenado à temperatura ambiente se adequando muito bem às condições brasileiras, visto que independe de sistemas de distribuição refrigerados (ALVES, 2001).

4.2.5 Fabricação de manteiga

A manteiga tem como matéria prima para sua fabricação o creme presente no leite, que possui de 37 a 40% de gordura. Esse creme é retirado do leite por centrifugação e levado ao pasteurizador, onde é aquecido a 85°C por 15 segundos. Em seguida, é fermentado, conferindo o sabor e aroma característicos do produto final. Posteriormente, o creme fermentado é enviado à batedura, promovendo a separação do leitelho (líquido que se separa do creme), que pode ser reaproveitado na fabricação de bebidas lácteas. Por fim, a massa é lavada e batida mais uma vez num processo conhecido como malaxagem, promovendo a aglomeração da gordura de forma homogênea (FIEMG; FEAM, 2014; MACHADO *et al.*, 2002). A Figura 3 mostra o fluxograma do processo produtivo de fabricação da manteiga

Figura 3 - Fluxograma do processo produtivo da fabricação da manteiga.



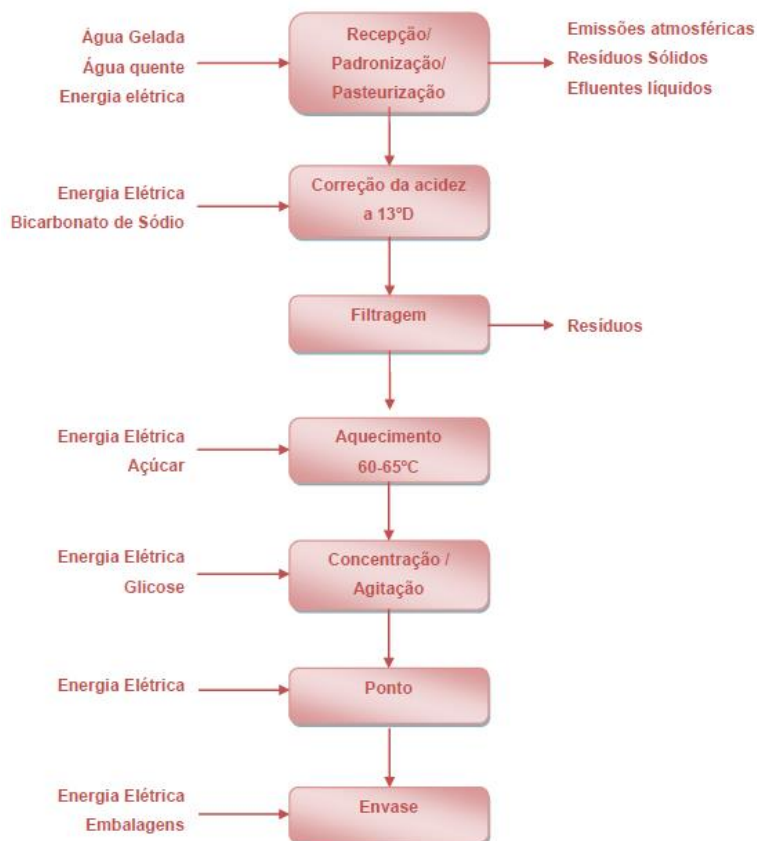
Fonte: CETESB (2006)

4.2.6 Fabricação de doce de leite

O doce de leite é basicamente o produto resultante do cozimento do leite com açúcar até a concentração e caramelização desejada. Pode ser encontrado na forma pastosa ou em tabletes e, além de seus componentes principais, o leite e o açúcar, pode conter creme, glicose, cacau, chocolate entre outros ingredientes opcionais. Inicialmente, é necessário adicionar bicarbonato de sódio para correção da acidez do leite, pois pode interferir no ponto final do doce. Em seguida, adiciona-se a sacarose. No caso do processamento do doce de leite pastoso tradicional, a quantidade de açúcar (sacarose) adicionada geralmente equivale a valores entre 18% e 20% do volume de leite utilizado. O leite segue então para a concentração,

onde passa por aquecimento, permanecendo sob agitação mecânica, enquanto são adicionados os ingredientes de sabor, até se obter o “ponto” (FEAM, 2011; VIEIRA *et al.*, 2011). Esse processo produtivo pode ser resumido no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do processo produtivo da fabricação do doce de leite



Fonte: FEAM (2011)

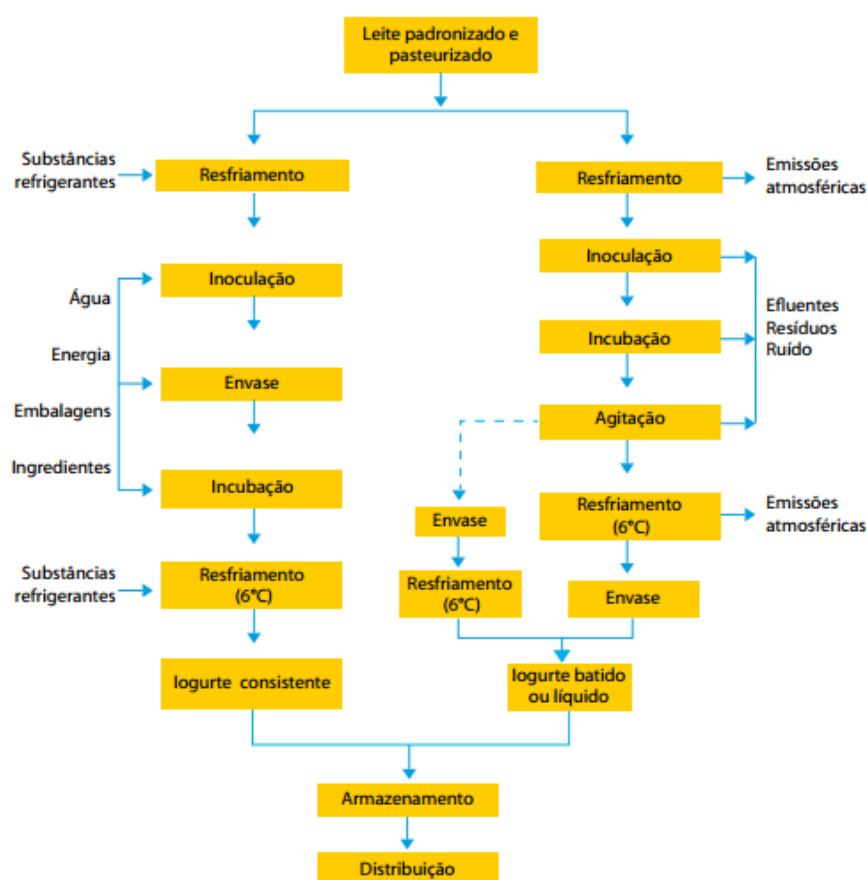
4.2.7 Fabricação de iogurtes

Dentre os diversos tipos de leite fermentado, o que mais se destaca economicamente é o iogurte. Essa bebida possui alto valor nutritivo e medicinal, ajudando inclusive na produção de anticorpos, hormônios e enzimas. O leite fermentado é resultante de fermentação láctica, podendo ser adicionados ingredientes, como frutas e açúcar, de forma a modificar seu sabor e consistência. Já o iogurte é obtido pela fermentação do leite pela ação de dois microrganismos, *Lactobacillus bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus* (ROBERT, 2008).

Para se obter um iogurte com boa textura, é necessário um alto teor de sólidos, que em alguns casos, não é encontrado no leite recebido, ainda que tenha

elevado teor de gordura. Sendo assim, costuma-se adicionar leite em pó ou leite concentrado, devendo posteriormente homogeneizar esta mistura e, em seguida, enviá-la para o tratamento térmico. A etapa do tratamento térmico pela pasteurização é de grande importância para o processo, porque além de destruir os microrganismos patogênicos e outros que possam competir com as culturas do iogurte, reduz o oxigênio disponível no leite estimulando o início do crescimento da cultura láctica e influi na obtenção da textura e viscosidade dessas bebidas. Após a pasteurização, é adicionada a cultura e a mistura é mantida em repouso até atingir a acidez desejada. A partir daí, têm-se a formação do chamado coágulo, sendo que as próximas etapas consistem no resfriamento, para diminuir a atividade dos microrganismos, e posterior quebra do coágulo, de forma a obter uma textura homogênea (FEAM, 2011; ROBERT, 2008). A Figura 5 ilustra o processo produtivo de fabricação de três tipos de iogurte: tradicional, batido ou líquido.

Figura 5 - Fluxograma do processo produtivo da fabricação de iogurte tradicional, batido e líquido.



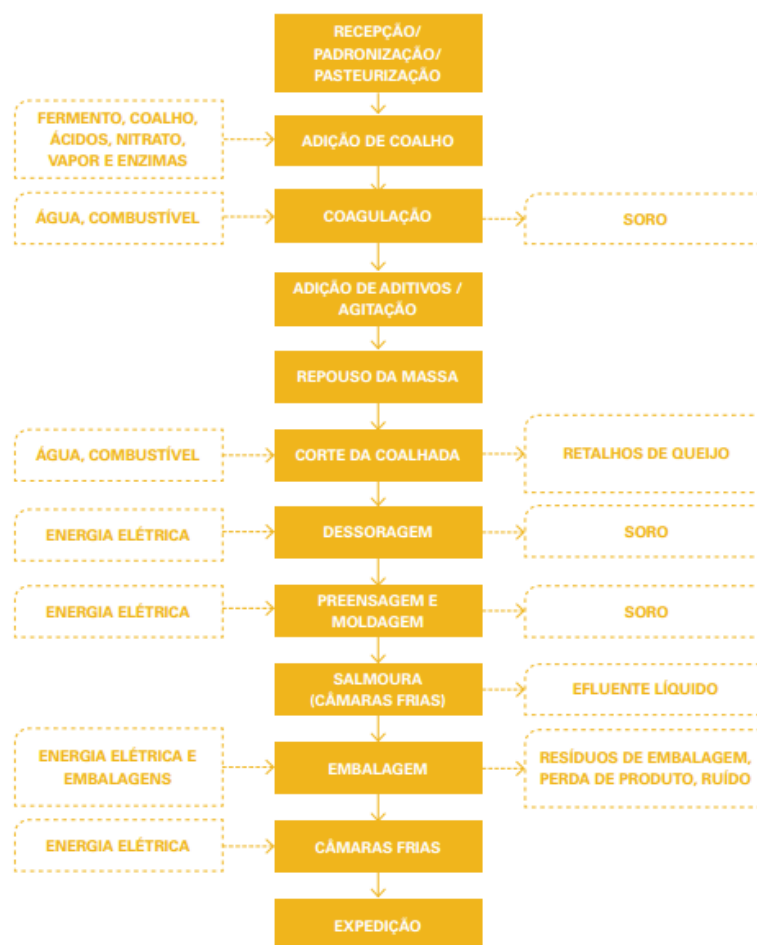
Fonte: CETESB (2006)

4.2.8 Fabricação de queijos

A fabricação de queijos pode ter diversas especificidades, visto que existem diversos tipos de queijo. Entretanto, ela consiste essencialmente em um processo de concentração do leite, em que o soro é separado de parte dos componentes sólidos, sendo esses sólidos agregados, originando a coalhada (FOX e MCSWEENEY, 1998).

Essa concentração do leite acontece através da coagulação enzimática da caseína, provocada pelas enzimas de coagulantes ou do coalho - cuja origem é no estômago dos mamíferos durante o período em que são amamentados - em combinação com cloreto de cálcio e fermento láctico, obtido pela fermentação da lactose para ácido láctico pelas bactérias lácticas adicionadas ao leite ou pela acidificação direta com adição de ácido láctico. A caseína coagulada arrasta a gordura formando o coágulo, que é separado do soro, moldado e salgado (MACHADO *et al.*, 2002; PAULA *et al.*, 2009). A Figura 6 representa o processo produtivo básico de produção de queijo.

Figura 6 - Fluxograma básico do processo produtivo da fabricação de queijo



Fonte: FIEMG e FEAM (2014)

Como visto, o soro de leite é uma porção aquosa que se separa do coágulo durante a fabricação convencional do queijo, sendo que esse corresponde a cerca de 85 a 90% do volume de leite utilizado para a transformação em queijo e a 55% dos nutrientes contidos no leite (KOSIKOWSKI, 1979). O soro gerado pela maioria dos queijos é o denominado soro doce, por ter uma menor acidez. Mas existe também o soro ácido, gerado na produção de tipos específicos de queijo, como a Ricota e o Cottage (FEAM, 2011).

4.3 Caracterização da poluição por efluentes líquidos de laticínios

Entre os impactos ambientais gerados pela indústria de laticínios, os mais importantes são: geração de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e efluentes líquidos de elevada carga orgânica. A destinação da parcela não aproveitada do

soro de queijo pode ser considerada o impacto ambiental mais grave oriundo dessa indústria, caso seja lançada diretamente nos cursos d'água (MACHADO *et al.*, 2000).

CETESB (2006) reitera que a descarga de efluentes industriais é um impacto ambiental muito significativo do setor. Sendo assim, além da qualidade, merece também atenção a quantidade de efluentes gerados.

O volume de água consumido e de efluente gerado em indústrias de laticínios é muito variável, pois é influenciado pelos produtos produzidos, qualidade da água que é necessária, tipo de processo utilizado, e também das práticas de gestão adotadas (VOURCH *et al.*, 2008). Entretanto, CETESB (2006) afirma que essa relação entre água consumida e efluente gerado, em geral se situa entre 1 e 6 para as indústrias brasileiras de laticínios. Apesar de ocorrer perdas de água por evaporação nas torres de resfriamento e evaporadores e do seu uso consuntivo (água usada na formulação do produto), a produção de laticínios também proporciona a eliminação de água pela própria matéria prima, sendo assim a parcela de efluente gerado pode ser superior à água consumida. (CARAWAN *et al.*, 1979).

É importante destacar que Villa *et al.* (2006) estimaram que para cada litro de leite beneficiado sejam gerados cerca de 2,5 litros de efluente. Cabe ressaltar também que, normalmente, a produção de efluentes líquidos se dá de forma intermitente, e assim ocorrem variações de vazão horárias e sazonais de acordo com o ciclo da produção do laticínio. Essa informação deve ser levada em consideração no projeto de confecção dos sistemas de tratamento de efluentes (CETESB, 2006).

Os efluentes líquidos oriundos da indústria de laticínios englobam os efluentes industriais, os efluentes sanitários e as águas pluviais captadas na respectiva indústria (SILVA, 2006).

De forma geral, apresentam-se na Tabela 1 as principais operações e processos que originam os efluentes industriais em laticínios.

Tabela 1 - Origem dos efluentes líquidos industriais em laticínios

| OPERAÇÃO OU PROCESSO | DESCRIÇÃO |
|-----------------------------------|---|
| Lavagem e limpeza | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Enxaguamento para remoção de resíduos de leite ou de seus componentes, assim como de outras impurezas, que ficam aderidos em caminhões, latões, tanques, máquinas e equipamentos diretamente envolvidos na produção; ▪ Lavagem de pisos e equipamentos; ▪ Arraste de lubrificantes de equipamentos da linha de produção, durante as operações de limpeza. |
| Descartes e descargas | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Descargas de misturas de sólidos de leite e água em operações de partida e interrupção de funcionamento de pasteurizadores, trocadores de calor, separadores e evaporadores; ▪ Descarte de soro, leitelho e leite ácido nas tubulações de esgotamento de águas residuárias; ▪ Descargas de sólidos de leite retidos em clarificadores; ▪ Descarte de finos oriundos da fabricação de queijos; ▪ Descarga de produtos e materiais de embalagem perdidos nas operações de empacotamento, inclusive aqueles gerados em colapsos de equipamentos e na quebra de embalagens; ▪ Produtos retornados a indústria. |
| Vazamentos e derramamentos | <p>Vazamentos de leite em tubulações e equipamentos correlatos devido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Operação e manutenção inadequadas de equipamentos; ▪ Transbordamento de tanques, equipamentos e utensílios diversos; ▪ Negligência na execução de operações, o que pode causar derramamentos de líquidos e sólidos diversos em locais de fácil acesso às tubulações de esgotamento de águas residuárias. |

Fonte: Adaptado de Machado *et al.* (2002)

Segundo MACHADO *et al.* (2002), as principais matérias contidas nos despejos líquidos originários das diversas atividades desenvolvidas nessa indústria são:

- Leite e derivados recebidos como matéria-prima;
- Matérias lácteas geradas e que não foram aproveitadas nas etapas dos processos industriais, principalmente gordura, além de sólidos de leite e restos ou pedaços de produtos finais;
- Detergentes e desinfetantes usados nas operações de lavagem e limpeza;
- Areia e poeira removidas nas operações de lavagens de pisos e latões de leite;
- Lubrificantes usados na manutenção de equipamentos;
- Açúcar, pedaços de frutas e essências (fabricação de iogurte e de bebidas lácteas);
- Condimentos diversos (produção de requeijão condimentado);
- Subprodutos como o soro (fabricação de queijo) e o leiteiro (produção de manteiga) que, mesmo quando reaproveitados, podem aparecer em quantidades residuais.

Como dito, as indústrias de laticínios têm, ainda, como efluente líquido, as águas pluviais coletadas, que não devem, de forma alguma, serem misturadas às tubulações dos demais efluentes; e o esgoto sanitário de lavatórios, refeitórios, banheiros, cozinha, que pode ser tratado juntamente aos efluentes industriais ou não (MACHADO *et al.*, 2002).

Os seus efluentes industriais da indústria de laticínios apresentam uma elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), como consequência da grande quantidade de lipídios, carboidratos e proteínas, que conferem ao sistema uma alta carga orgânica (VILLA *et al.*, 2006). Machado *et al.* (2000) afirmam que, em pequenos laticínios, onde a segregação do soro é realizada de forma precária, a carga orgânica é mais elevada que em laticínios de médio e grande portes, em que essa segregação é mais adequada.

Em média, para a fabricação de um quilo de queijo, são necessários 10 litros de leite e recupera-se 9 litros de soro (SILVA, 2006), sendo que esse soro é

aproximadamente 100 vezes mais poluente que o esgoto doméstico. Um empreendimento que produz cerca de 300.000 litros de soro por dia polui o equivalente a uma cidade com 150.000 habitantes (SILVA, 2011). Estima-se, ainda, que 50% do soro produzido no Brasil é descartado na natureza sem nenhum tratamento (SILVEIRA, 2004 *apud* SILVA, 2006).

A composição do soro é variável, de acordo com o leite utilizado e as perdas dos constituintes do leite durante o processo produtivo. Mas, em geral, o teor de água do soro compreende entre 91 e 95%, e o restante, corresponde ao extrato seco, sendo que este é constituído em grande parte por lactose (70 a 80%), tendo ainda proteínas, minerais, lipídios, bons níveis de cálcio, sódio, magnésio, fósforo, potássio e ainda ser rico vitaminas hidrossolúveis (MACHADO *et al.*, 2002). Diante disso, aos poucos o soro passou a ser visto pelos produtores como matéria-prima, ou um subproduto a ser aproveitado e não apenas descartado, em vista do seu conteúdo nutricional elevado. Atualmente, existem diversas formas de aproveitar o soro como, por exemplo, na fabricação de bebidas lácteas, creme de soro, lactose, concentrado protéico de soro, soro fermentado e concentrado nutricional para alimentação de animais (ANDRADE, 2011).

Segundo CETESB (2006), normalmente, os efluentes apresentam os seguintes parâmetros:

- Alto teor de orgânicos, devido à presença de substâncias do leite;
- Óleos e graxas, devido à gordura do leite e de outros produtos lácteos;
- Odor, originado pela decomposição da caseína;
- Altos teores de nitrogênio e fósforo, principalmente em função do uso de produtos para limpeza e desinfecção. A presença do nitrogênio também está relacionada à alta concentração de proteínas (DEMIREL *et al.*, 2005);
- Grandes variações no pH, devido principalmente à fermentação láctea dos resíduos e sua posterior conversão em ácido lático e à limpeza *Clean in Place* (CIP), que consiste em uma limpeza interna de uma peça ou equipamento que compõe o processo produtivo, sem realocação ou desmontagem, normalmente feita por ácidos, cáusticos, ou uma combinação de ambos, com enxágue final feito com água da mesma qualidade que a utilizada para produção.

- Alta condutividade, especialmente na produção de queijos, devido ao resíduo de cloreto de sódio da salga;
- Variações na temperatura, provocadas por etapas produtivas específicas.

De acordo com FIEMG e FEAM (2014), a DBO é um dos parâmetros de controle utilizado para avaliar a carga orgânica presente nos efluentes líquidos de uma indústria de laticínios, sendo um indicador da concentração de matéria orgânica biodegradável nos efluentes. Assim, são apresentadas na Tabela 2, as variações médias de DBO em efluentes industriais de laticínios, levando em consideração as diferentes atividades envolvidas nesse setor, sendo mostrado também o seu equivalente populacional, em termos de poluição por efluentes líquidos, para cada litro de leite processado.

Tabela 2 - Valores médios de DBO dos efluentes líquidos de diferentes unidades industriais de laticínios

| UNIDADE INDUSTRIAL | [DBO] (mg/L) | CARGA ESPECÍFICA DE DBO (kg DBO/m ³ leite processado) | EQUIVALENTE POPULACIONAL (equivalente hab/L leite processado) |
|---|--------------|--|---|
| Posto de recepção e resfriamento de leite | 600 – 1200 | 1,2 | 24 |
| Empacotamento de leite e manteiga | 800 – 1600 | 3,0 | 60 |
| Queijaria | 3000 – 6000 | 18,0 | 368 |
| logurte | 1500 – 3500 | 5,0 | 100 |
| Torre de secagem de leite | 600 – 1200 | 1,3 | 27 |

Fonte: FIEMG e FEAM (2014)

Machado *et al.* (2002) afirmam que a relação entre DBO/DQO, para os efluentes de indústria de laticínios, encontra-se na faixa de 0,50 e 0,70, sendo que quanto maior esse valor, maior é a fração biodegradável dos efluentes e tanto mais indicado é o tratamento por meio de processos biológicos. Acrescentam ainda que valores fora dessa faixa são indicadores de efluentes de natureza incomum, como aqueles contaminados com amônia ou outras substâncias tóxicas ao teste de DBO.

A Tabela 3 apresenta valores médios das principais características físico-químicas dos efluentes industriais de diferentes tipos de fábricas de laticínios.

Tabela 3 - Características médias dos efluentes líquidos industriais de diferentes tipos de laticínios

| PARÂMETROS | TIPOS DE INDÚSTRIAS (*) | | | | | | |
|---|-------------------------|------|------|-------|------|------|------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | |
| DBO ₅ (mg/L) | 1033 | 487 | 1319 | 3420 | 290 | 875 | 761 |
| DQO (mg/L) | 1397 | 873 | 1740 | 4430 | 2010 | 1365 | 1370 |
| Sólidos suspensos (mg/L) | 520 | 329 | 494 | 420 | 915 | 776 | 471 |
| Sólidos totais (mg/L) | - | - | 993 | 3300 | - | 1870 | 1406 |
| Sólidos sedimentáveis (mL/L) | - | - | 14 | 1 | 1,5 | 0,1 | 1,7 |
| Nitrogênio total (mg/L) | - | 26,5 | 43,2 | 86,2 | 56,7 | 25,5 | 11,3 |
| Fósforo total (mg/L) | 5,75 | 4,5 | 5,9 | 14,2 | 18,8 | 6,8 | 8,8 |
| Óleos e graxas (mg/L) | 562 | - | 253 | 575 | - | 100 | - |
| Temperatura (°C) | - | - | 29 | 31 | 29 | 38 | 28 |
| Vazão (m³/leite processado) | 1,06 | 1,47 | 0,83 | 4,1 | 5,5 | 3,2 | 5,4 |
| Carga orgânica (kg DBO ₅ /t de leite processado) | 1,09 | 0,72 | 1,09 | 14,02 | 1,60 | 2,8 | 4,11 |
| Leite processado (t) | 18,5 | 29,4 | 48,4 | 226,2 | 59,7 | 80 | 63,4 |

*Tipos de indústrias:

(1) Posto de recepção e refrigeração de leite

(2) Leite pasteurizado e manteiga

(3) Leite pasteurizado e iogurte

(4) Leite esterilizado e iogurte

(5) Leite condensado

(6) Leite em pó

Fonte: CETESB (1990) *apud* Machado *et al.* (2002)

É importante ressaltar que os dados a respeito das características físico-químicas dos efluentes industriais de laticínios devem ser vistos como valores aproximados, pois apesar da natureza dos processos de geração desses efluentes serem similares, a composição dos mesmos é influenciada por outros fatores, que podem se diferenciar entre uma indústria e outra, sendo eles: processos industriais em curso; volume de leite processado; condições e tipos de equipamentos

utilizados; práticas de redução da carga poluidora e do volume de efluentes; implantação de práticas de gestão ambiental; e a quantidade de água utilizada nas operações de limpeza e no sistema de refrigeração (MACHADO *et al.*, 2002).

4.4 Mecanismos para o controle da poluição por efluentes líquidos na indústria de laticínios

A sequência de tratamento mais usual de efluentes industriais de laticínios envolve os tratamentos preliminar e primário, cujo objetivo é remover sólidos, óleos e gorduras; o tratamento secundário, visando diminuir prioritariamente a carga orgânica, mas também pode reduzir a quantidade de nutrientes (nitrogênio e fósforo); e, em alguns poucos casos, o tratamento terciário, para polimento (ANDRADE, 2011).

4.4.1 Tratamento preliminar de efluentes

O pré-tratamento ou tratamento preliminar de efluentes de laticínios normalmente consiste de gradeamento, desarenador e medidor de vazão, usualmente medida através de calhas Parshall ou vertedores. Esses mecanismos de remoção são de natureza física e têm o objetivo de remover sólidos grosseiros, tais como resíduos de embalagens, pequenos fragmentos de pedras e coágulos de leite, além de areia resultante da lavagem de caminhões e latões (BRITZ *et al.*, 2008).

O gradeamento é o principal responsável pela remoção dos sólidos grosseiros. Nesse caso, o material de dimensões maiores do que o espaçamento entre as barras é retido. Atualmente, têm-se inserido peneiras (Figura 7) na etapa de gradeamento para remover sólidos ainda menores, principalmente quando se tem reatores *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) (von SPERLING, 2014).

Figura 7 - Peneiramento – Tratamento preliminar



Fonte: FIEMG e FEAM (2014)

Já a remoção de areia acontece nos desarenadores, e o mecanismo de remoção utilizado é a sedimentação dos grãos de areia, que sendo mais densos e de maiores dimensões, vão para o fundo do tanque, enquanto a matéria orgânica, de sedimentação mais lenta, permanece suspensa (ANDRADE, 2011; von SPERLING, 2014).

No caso de indústrias onde o horário de produção não é integral e ocorrem picos de vazão ao longo do dia, tanques de equalização também são adotados na etapa de tratamento preliminar, tanto para regularizar a vazão dos efluentes, de forma a facilitar a operação das unidades de jusante, que passam a trabalhar com uma vazão próxima à vazão média, quanto para promover a correção de pH, através da mistura dos efluentes, visto que dependendo das estratégias de limpeza aplicadas, o pH pode ir de muito ácido a muito básico (BRITZ *et al.*, 2008; von SPERLING, 2014). É importante ressaltar que, nessa etapa, não deve ocorrer sedimentação de sólidos, para evitar a decomposição anaeróbia, que gera maus odores. Para isso, devem ser incluídos misturadores, que manterão os sólidos dispersos, podendo estes misturadores ser também aeradores, mantendo as condições de aerobiose (von SPERLING, 2014).

4.4.2 Tratamento primário de efluentes

O tratamento primário tem grande importância na remoção de gorduras, sendo que as principais finalidades de sua remoção são: evitar obstruções nas tubulações coletoras, aderência nas peças especiais da rede de esgoto e acumulação nas unidades de tratamento, levando à colmatação de filtros em reatores anaeróbios e aeróbios e causando odores desagradáveis; e por fim, evitar a degradação dos corpos receptores (MACHADO *et al.*, 2002). Nos sistemas aeróbios, o alto teor de gordura afeta principalmente a eficiência de transferência de oxigênio, dificultando as trocas gasosas no Tanque de Aeração, reduzindo a eficiência do sistema (CAMMAROTA e FREIRE, 2006). Já para sistemas anaeróbios, Perle *et al.* (1995) afirmam que a gordura do leite é a maior causa de inibição da atividade metanogênica dos microrganismos anaeróbios.

Para retirada de gorduras em estado livre, são empregadas Caixas comuns de Gordura em que o efluente entra, e a gordura, por ser mais leve que a água, fica na superfície, enquanto a parte aquosa segue para a próxima etapa do tratamento. A posterior remoção dessa gordura retida pode ser manual ou por meio de raspadores de superfície (MACHADO *et al.*, 2001).

Entretanto, é bastante comum em efluentes oriundos de laticínios a formação de emulsão, que é uma dispersão coloidal que ocorre entre dois líquidos que não se misturam. Nestes casos, esta deve ser quebrada pela adição de produtos químicos e/ou utilização de Flotação com Ar Dissolvido (MACHADO *et al.*, 2001). Esse processo consiste em introduzir pequenas bolhas de gás (geralmente ar) no efluente. As bolhas aderem às partículas, formando então um conjunto partícula-bolha com força ascendente para fazer com que as partículas subam até a superfície. O uso de produtos químicos auxiliares nessa etapa do tratamento, tais como coagulantes e floculantes, promovem um aumento da eficiência do processo de separação de sólidos (FIEMG; FEAM, 2014).

A eficiência na remoção de gorduras melhora significativamente com a flotação. Entretanto, os custos operacionais são mais elevados e é gerado um lodo químico que necessita de uma destinação adequada. Normalmente, os Flotadores são usados em sistemas de tratamento com processos anaeróbios, e as caixas de

gordura são usadas tanto em sistemas anaeróbios quanto aeróbios (MACHADO *et al.*, 2002).

Mesmo após a passagem pelas unidades de tratamento preliminar, os efluentes ainda contêm os sólidos em suspensão não grosseiros, que podem ser parcialmente removidos em unidades de sedimentação. O líquido flui vagarosamente através dos Tanques de Decantação, permitindo que os sólidos suspensos, de densidade maior que esse líquido circundante, sedimentem gradualmente. Uma parte desses sólidos em suspensão consiste na matéria orgânica em suspensão. Assim, nas unidades de sedimentação, têm-se uma eficiência de remoção de sólidos em suspensão em torno de 60 a 70% e de DBO em torno de 25 a 35% (von SPERLING, 2014).

4.4.3 Tratamento secundário de efluentes

O principal objetivo do tratamento secundário é a remoção de matéria orgânica. Esta se apresenta de duas formas: como matéria orgânica dissolvida, que não é removida por processos meramente físicos e matéria orgânica em suspensão, a qual é grande parte removida no tratamento primário, restando apenas os sólidos de sedimentabilidade mais lenta (von SPERLING, 2014).

Os processos biológicos são os mais utilizados como tratamento secundário de efluentes de laticínios em razão da grande quantidade de matéria orgânica facilmente biodegradável presente em sua composição, e por serem economicamente mais viáveis (DEMIREL *et al.*, 2005). No entanto, apresentam algumas limitações práticas: a biodegradação efetiva depende de diversos fatores que nem sempre são facilmente controláveis, como pH, temperatura, uma população microbiana diversificada e estável, e que possua interação entre os microrganismos. Além disso, deve ser considerado também, o longo tempo de tratamento e a grande área necessária para a implantação de algumas dessas estações de tratamento (VILLA *et al.*, 2006).

Entre os processos biológicos mais citados na literatura especializada e encontrados em estações de tratamento em escala real, estão o Filtro Anaeróbio, o Filtro biológico, as Lagoas de Estabilização, o Lodos Ativados Convencional e o

Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, ou como também é chamado, reator UASB (MACHADO et al., 2001).

4.4.3.1 *Filtro Anaeróbio*

Os filtros anaeróbios são caracterizados pela presença de um meio suporte no qual a biomassa cresce aderida ou retida nos interstícios. Assim, os microrganismos presentes degradam o substrato contido no fluxo do efluente (FIEMG e FEAM, 2015). A configuração mais usual desses filtros é de fluxo ascendente e leito constituído por pedras (no Brasil, geralmente brita nº 4), mas também podem ser utilizados outros materiais suporte, como anéis, esferas perfuradas e blocos modulares (CAMPOS e DIAS, 1989).

Cabe ressaltar ainda outras características desse sistema: a unidade é fechada; o filtro trabalha afogado, ou seja, há um preenchimento dos espaços vazios com líquido; e, normalmente, a carga de DBO aplicada por unidade de volume é bastante elevada, garantindo as condições anaeróbias e repercutindo na redução de volume do reator (von SPERLING, 2014).

Os filtros anaeróbios operam com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 13 à 72h e, frequentemente, o efluente tratado necessita ser enviado para um pós-tratamento, pois não atinge os padrões de lançamento (ANDRADE, 2011). Um dos principais problemas a respeito da operação de filtros anaeróbios é a colmatção ou entupimento do meio suporte, sendo necessária uma adequada operação do pré-tratamento, instalação prévia de dispositivos de limpeza que permitam retirar o excesso de sólidos e um descarte periódico de lodo (MACHADO et al., 2002).

4.4.3.2 *Reator UASB*

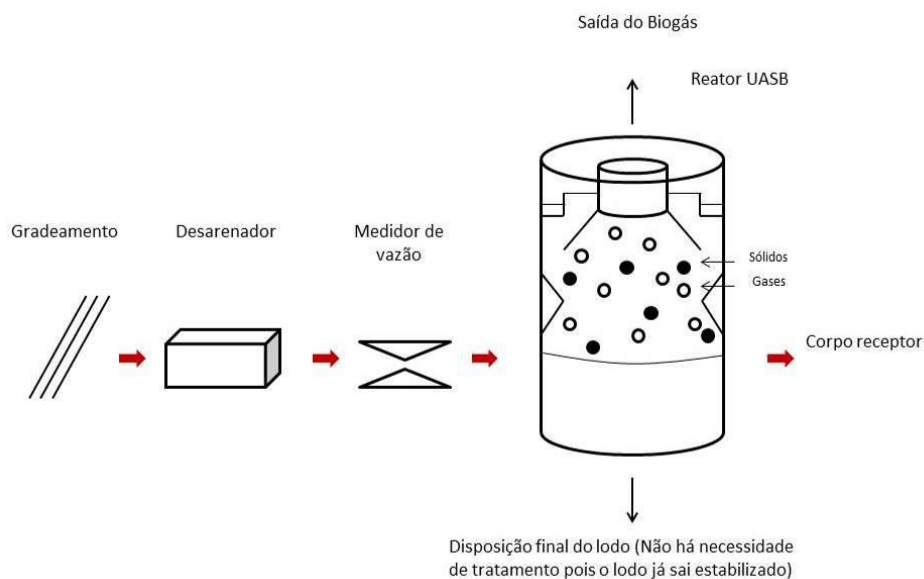
O sistema do Reator UASB exige uma pequena demanda de área de instalação e é capaz de apresentar eficiência satisfatória em termos de remoção de DBO. Portanto, sua implantação torna-se uma boa alternativa para países em desenvolvimento, tais como o Brasil (CAMPOS et al., 2004).

A biomassa, nesse sistema, cresce dispersa no meio, e não aderida a um meio suporte, não havendo assim necessidade de decantação primária, diferentemente dos filtros anaeróbios. A biomassa, ao crescer, pode se aglutinar, formando pequenos grânulos, que por sua vez, tendem a servir como meio suporte para outros microrganismos. Essa granulação auxilia na eficiência do sistema, mas não é fundamental para o funcionamento do reator (von SPERLING, 2014).

No UASB, o efluente entra pelo fundo do reator e segue uma trajetória ascendente, passando pela zona de digestão, onde grande parte da matéria orgânica é digerida anaerobicamente pela biomassa, gerando gases (principalmente, metano e gás carbônico) como produto. Na parte superior do reator, encontra-se um separador trifásico capaz de separar os sólidos, o líquido e os gases. Sua forma é normalmente um cone invertido ou um tronco de pirâmide. Esse separador contém uma zona de sedimentação, na qual as partículas suspensas vão se depositando, acumulam, ganham peso e, em determinado momento, se desprendem, voltando à zona de digestão, promovendo a retenção do lodo e mantendo uma maior concentração de sólidos dentro do sistema. As bolhas de gás geradas na digestão anaeróbia sobem e são conduzidas, devido à presença de defletores, para os pontos de recolhimento de gás (MACHADO *et al.*, 2002; NASCIMENTO, 2001).

Segundo von Sperling (2014), a concentração de biomassa no reator é bastante elevada, requerendo assim um volume inferior em comparação com os demais sistemas de tratamento. Além disso, devido à alta retenção de sólidos, a idade do lodo também é bastante elevada, permitindo uma maior estabilização do lodo excedente descartado, e o Tempo de Detenção Hidráulica pode ser reduzido, sendo em torno de 6 a 10 horas. A Figura 8 apresenta o fluxograma de um sistema de tratamento de efluentes composto por reator UASB.

Figura 8 - Fluxograma típico de um sistema com reator UASB



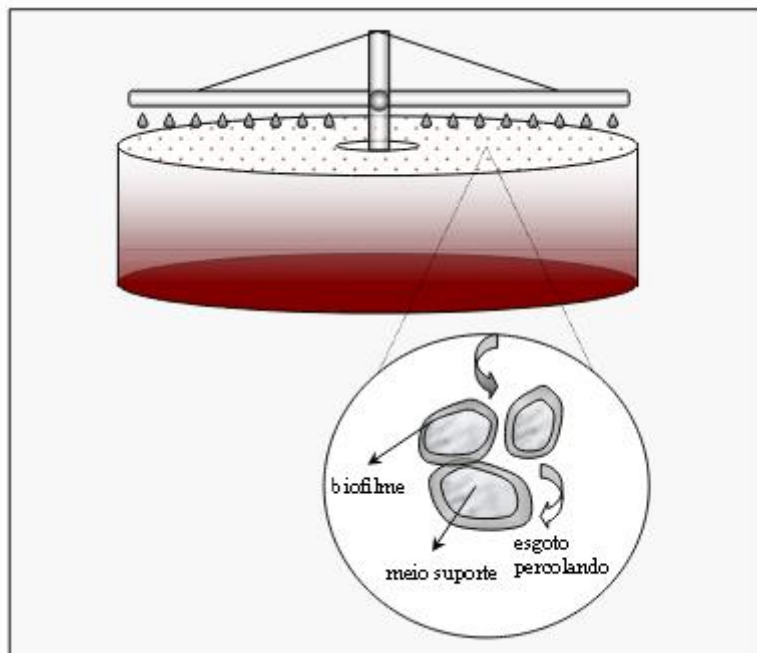
Fonte: FEAM (2015)

4.4.3.3 Filtro Biológico Percolador (FBP)

Esse sistema apresenta uma elevada aplicabilidade, devido, principalmente, a simplicidade e baixo custo operacional. Ele consiste de um leito de material grosseiro, como ripas, material plástico, pedras, por onde o efluente percola em direção aos drenos de fundo. Os efluentes são aplicados continuamente através de distribuidores rotativos ou estacionários movidos pela própria carga hidráulica do líquido ou por energia elétrica (NASCIMENTO, 2001).

Segundo von Sperling (2014), a percolação promove o crescimento bacteriano na superfície do material suporte formando uma película gelatinosa ativa, constituída de variados microrganismos, conhecida como biofilme (Figura 9). O líquido escoar pelo meio suporte e a matéria orgânica é adsorvida na película, ficando retida tempo suficiente para sua estabilização. Os FBP são aeróbios, pois o ar circula nos espaços vazios existentes entre o material de enchimento, sendo fonte de oxigênio para a respiração dos microrganismos. A ventilação, embora possa ser forçada, é normalmente natural (NASCIMENTO, 2001).

Figura 9 - Esquema de funcionamento de um filtro biológico

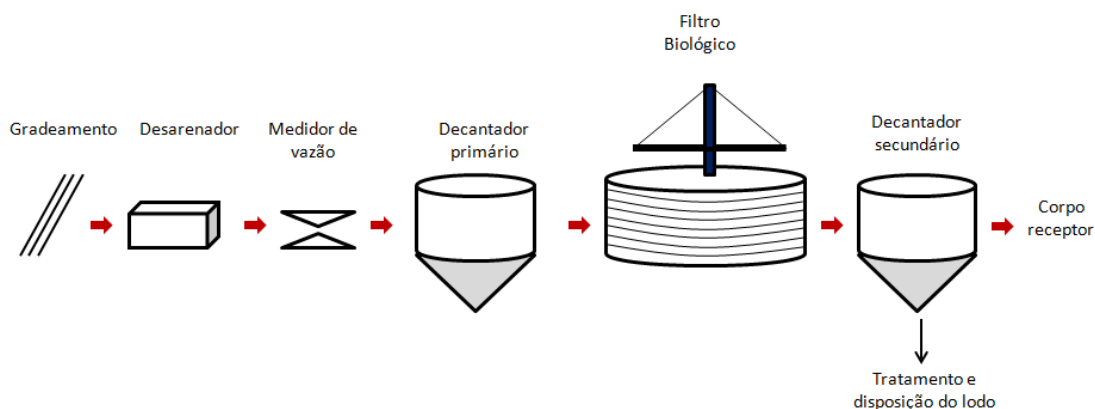


Fonte: Nascimento (2001) adaptado de von Sperling (1995)

Com o crescimento da biomassa na superfície do material de enchimento, os espaços vazios tendem a diminuir, causando uma tensão de cisalhamento que provoca o desprendimento das placas de biofilme, sendo assim uma forma natural de controle da população de microrganismos. Esse lodo desalojado deve ser removido em um Decantador Secundário, para que o nível de sólidos no efluente final não seja elevado (von SPERLING, 2014).

Os FBP podem ser de baixa carga e, nesse caso, a quantidade de DBO aplicada por volume de filtro é menor, resultando numa menor disponibilidade de alimentos e assim têm-se um lodo parcialmente digerido e maiores eficiências na remoção de DBO, sendo também eficientes na remoção de amônia por nitrificação. Entretanto, se faz necessário uma maior área em comparação com o sistema de alta carga. No FBP de alta carga, a quantidade de DBO por unidade de volume de leito é maior, sendo necessárias menores áreas, mas tendo uma ligeira redução na eficiência de remoção da matéria orgânica e o lodo não é estabilizado no filtro (von SPERLING, 2014). A Figura 10 mostra um fluxograma geral de um sistema de FBP.

Figura 10 - Fluxograma típico de um sistema de Filtro Biológico Percolador



Fonte: FEAM (2015)

4.4.3.4 Lagoas de Estabilização

As Lagoas de Estabilização são normalmente idealizadas para promover a remoção de matéria orgânica, sólidos e coliformes. O princípio do tratamento nas Lagoas de Estabilização de esgotos consiste na autodepuração que ocorre em corpos d'águas lânticos, baseando assim na capacidade de reciclagem dos elementos (BENTO, 2005).

Os sistemas de Lagoas de Estabilização podem ser combinados de variadas formas, apresentando diferentes requisitos energéticos e de área e modos de operação. Na grande maioria dos casos, é feita uma combinação em série de diferentes tipos de lagoas, dentre os principais, pode-se citar: Lagoas Facultativas, Lagoas Anaeróbias, Lagoas Aeradas Facultativas, Lagoas Aeradas de Mistura Completa, Lagoas de Maturação e Lagoas de Polimento (SEZERINO, 2006; von SPERLING, 2014).

As **Lagoas Anaeróbias** são frequentemente usadas no início de uma série de lagoas para tratamento de efluentes com elevadas cargas orgânicas, como é o caso das indústrias de laticínios. Além disso, são construídas com menores dimensões e maior profundidade. Diante disso, o consumo de oxigênio se torna muito maior que a produção, criando as condições de anaerobiose, em que a degradação da matéria orgânica não necessita de consumir oxigênio dissolvido e predominam processos de fermentação. Esse processo biológico transforma a matéria orgânica em biogás, constituído por metano e gás carbônico. A temperatura é o principal fator que

influencia nesse sistema, pois alterações bruscas prejudicam a atividade das bactérias metanogênicas (DALAVÉQUIA, 2001).

Segundo von Sperling (2014), para um período de permanência de 2 a 5 dias, têm-se uma remoção parcial da matéria orgânica na ordem de 50 a 70%, ressaltando a necessidade da conjugação com outros sistemas. Além disso, caso o sistema não esteja bem equilibrado, pode ocorrer à geração de maus odores, por ser uma etapa anaeróbia em uma unidade aberta, sendo recomendado que esse tipo de lagoa não seja instalado próximo a núcleos urbanos.

A **Lagoa Facultativa** é o processo mais simples dentre os sistemas de Lagoas de Estabilização, dependendo unicamente de fenômenos naturais. São denominadas facultativas por apresentarem uma camada aeróbia superficial, uma zona facultativa intermediária e uma camada anaeróbia no fundo da lagoa (BENTO, 2005).

Nesse sistema, a matéria orgânica em suspensão sedimenta e vai para o lodo de fundo, onde sofre a biodegradação anaeróbia, tendo como subprodutos, principalmente, o gás carbônico e o metano. O gás carbônico é usado pelas algas, em conjunto com a luz solar, para realizar a fotossíntese, fornecendo como resultado da reação, oxigênio para o sistema, que também é obtido pela interface ar/água. A matéria orgânica dissolvida e a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões ficam dispersas na massa líquida, sendo decompostas pelas bactérias facultativas. A importância de serem facultativas as principais bactérias responsáveis pela estabilização da matéria carbonácea está relacionada à ocorrência da fotossíntese ser restrita ao dia, dessa forma, elas precisam ser capazes de sobreviver e proliferar tanto na presença quanto na ausência de oxigênio (von SPERLING, 2014).

A área requerida pelas **Lagoas Facultativas** é a maior dentre todos os sistemas de tratamento de esgotos. Isso é devido à dependência da realização da fotossíntese, que para ser efetiva, depende de um grande espelho d'água iluminado, e por ser um processo essencialmente natural, em que a estabilização da matéria orgânica acontece de forma mais lenta, exigindo elevado TDH (usualmente superior a 20 dias). Portanto, uma das soluções para resolver o problema da área requerida é

usá-la como lagoa secundária, recebendo o efluente de uma unidade a montante, e não o esgoto bruto (BENTO, 2005; von SPERLING, 2014)

Caso se deseje reduzir a área requerida, pode-se optar pelas Lagoas Aeradas Facultativas. Nesse sistema, o oxigênio é advindo prioritariamente de equipamentos denominados aeradores, que provocam um turbilhonamento na massa líquida, favorecendo a penetração do oxigênio atmosférico. A maior introdução de oxigênio permite que a decomposição da matéria orgânica ocorra mais rapidamente, e por consequência, pode-se trabalhar com um TDH inferior ao das lagoas facultativas convencionais, tornando o requisito de área também inferior (von SPERLING, 2014).

Um outro sistema de lagoas comumente usado são as **Lagoas Aeradas de Mistura Completa**, em que é fornecido um alto grau de energia por unidade de volume, por meio de aeradores mecânicos que promovem a mistura dos constituintes em toda a lagoa, sendo elas essencialmente aeróbias. Os aeradores, além de garantirem a oxigenação, mantêm os sólidos em suspensão (biomassa) dispersos no meio líquido, proporcionando um maior contato entre a matéria orgânica e as bactérias. Com isso, o TDH é apenas de 2 a 4 dias, e a eficiência do sistema em termos de remoção de carga orgânica aumenta. Entretanto, têm-se elevados teores de sólidos em suspensão, inviabilizando o lançamento direto desse efluente, sendo necessária uma etapa posterior que promova a sedimentação, como por exemplo, as lagoas de decantação (SCARASSATI *et al.*, 2003).

A respeito das **Lagoas de Maturação**, elas são usadas ao final dos sistemas de Lagoas de Estabilização. Já as **Lagoas de Polimento** são conceitualmente similares às Lagoas de Maturação, porém realizam o polimento de efluentes de outros sistemas de tratamento (von SPERLING, 2014). Ambas são utilizadas para melhorar a qualidade do efluente, através, principalmente da redução de organismos patogênicos, sólidos em suspensão, nutrientes, como nitrogênio e fósforo, e DBO e DQO remanescentes, sendo comumente classificadas como um **tratamento terciário** (PEARSON, 1996). Nesse tipo de tratamento, ocorre à prevalência da fotossíntese sobre a oxidação, devido à combinação de menor demanda de oxigênio com maior produção de oxigênio, predominando um ambiente aeróbio (RODRIGUES *et al.*, 2015).

De acordo com Bento (2005), as Lagoas de Estabilização apresentam-se mais suscetíveis às condições climáticas de temperatura e luminosidade do que outros sistemas biológicos de tratamento de esgotos devido, principalmente, à necessidade de produção de oxigênio pela fotossíntese, nos casos das lagoas não anaeróbias. Portanto, esse tipo de tratamento apresenta maior viabilidade em países de clima quente (zona tropical e subtropical), como é o caso do Brasil.

Além disso, uma importante vantagem desse sistema é a baixa produção de lodo, quando se tem uma operação e manutenção adequada das unidades e, quando combinadas em série, as lagoas produzem efluentes com as melhores condições sanitárias dentre os sistemas convencionais de tratamento, com quantidade de coliformes fecais normalmente inferiores a 1000NMP/100mL (BENTO, 2005). Entretanto, esse sistema requer utilização de grandes áreas e apresenta comumente certos problemas, como geração de odores, crescimento de vegetação, elevadas concentrações de algas e variação de desempenho entre as estações do ano. Segundo Machado *et al.* (2002), alguns desses problemas são causados pelo descaso na manutenção do sistema, em virtude da sua simplicidade operacional.

4.4.3.5 Lodos ativados

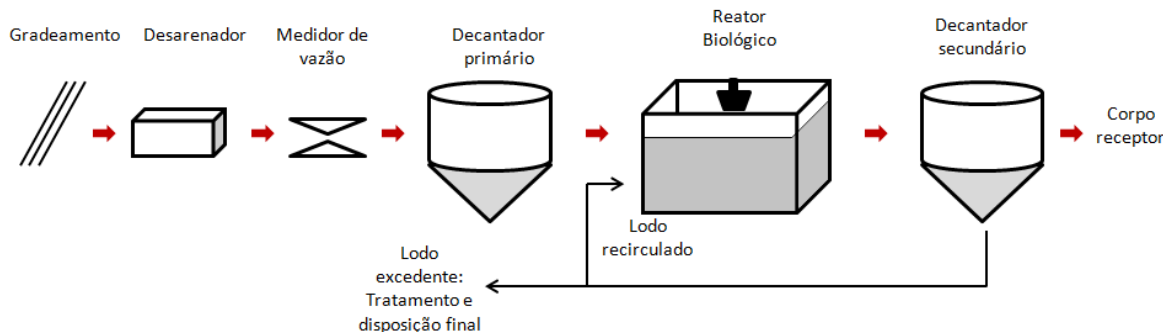
Os sistemas de Lodos Ativados são de grande aceitação e tradição no tratamento de efluentes da indústria de laticínios (MACHADO *et al.*, 2002). Ele se baseia em um processo biológico aeróbio, cujo princípio é evitar a perda descontrolada de bactérias ativas (lodo ativo). Para isso, tem-se um mecanismo de recirculação do lodo, mantendo a maior concentração possível de microrganismos ativos no reator e, portanto, acelerando a remoção de matéria orgânica (CAMPOS, 1994 *apud* MENDONÇA, 2002). Esses microrganismos formam flocos que podem ser removidos por sedimentação em Decantador Secundário. No Decantador, parte do lodo é retirada e recirculada para o Reator Aeróbio, e parte é descartada para tratamento. (MENDONÇA, 2002).

A ampla utilização desse sistema está associada, principalmente, à elevada eficiência. Por outro lado, exige um substancial investimento de capital, com altos custos de implantação, operação e manutenção (von SPERLING, 2014).

Existem diversas variantes no sistema de Lodos Ativados, a escolha dependerá do grau de tratamento desejado. As principais classificações são de acordo com a idade do lodo: Lodos Ativados Convencionais ou Lodos Ativados com Aeração Prolongada; e com o fluxo: fluxo contínuo ou fluxo intermitente (SCARASSATI *et al.*, 2003; von SPERLING, 2014).

Nos **Lodos Ativados Convencionais** (Figura 11) de fluxo contínuo - o efluente está constantemente entrando e saindo do reator - a etapa biológica é compreendida por duas unidades: o Tanque de Aeração e o Decantador secundário. O fornecimento de oxigênio é por meio de aeradores mecânicos ou por ar difuso. Assim, para economizar energia necessária à aeração, parte da matéria orgânica é retirada em um Decantador primário, antes de o efluente ir para o Tanque de Aeração. O tempo de retenção dos sólidos no sistema, ou seja, a idade do lodo é de 4 a 10 dias, formando um lodo que precisa ser estabilizado posteriormente. O TDH varia de 6 a 8 horas (MACHADO *et al.*, 2002; von SPERLING, 2014).

Figura 11 - Fluxograma de um sistema de Lodos Ativados Convencional



Fonte: FEAM (2015)

Von Sperling (2014) apresenta concentrações médias e eficiências típicas de remoção dos principais poluentes de interesse em efluentes usando o sistema de Lodos Ativados Convencional, conforme mostrado na Tabela 4. Entretanto, é importante levar em consideração que esses valores foram estipulados considerando efluente doméstico, que possuem certas diferenças do efluente industrial de laticínios.

Tabela 4 - Concentração média e eficiência típica de remoção de certos poluentes através do sistema de Lodos Ativados Convencional

| POLUENTE | QUALIDADE MÉDIA DO EFLUENTE | EFICIÊNCIA MÉDIA DE REMOÇÃO |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| DBO | 15-40 | 85-93 |
| DQO | 45-120 | 80-90 |
| Sólidos suspensos | 20-40 | 87-93 |
| Nitrogênio total | >20 | <60 |
| Fósforo total | >4 | <35 |

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2014)

Os **Lodos Ativados por Aeração Prolongada** de fluxo contínuo são similares ao anterior, com a diferença que a biomassa permanece no sistema por um tempo maior, entre 18 e 30 dias. Dessa forma, há menos substrato (DBO) disponível para as bactérias, que utilizam a matéria orgânica do próprio material celular para se alimentarem, resultando num lodo excedente já estabilizado. Esse sistema não possui Decantador Primário, pois criaria a necessidade de se estabilizar o lodo primário. Entretanto, o TDH é de 16 a 24 horas, requerendo um reator de maior volume (MACHADO *et al.*, 2002; von SPERLING, 2014).

De acordo com Machado *et al.* (2002) e von Sperling (2014), os **Lodos Ativados de Fluxo Intermitente** podem ser tanto na modalidade convencional ou de aeração prolongada, tendo como característica principal o funcionamento em batelada. Assim, no mesmo tanque ocorrem as etapas de reação e sedimentação. Normalmente, é seguida a seguinte sequência:

- Enchimento, em que ocorre a entrada do efluente;
- Reação, etapa de aeração e mistura;
- Sedimentação dos sólidos em suspensão;
- Esvaziamento, com a retirada do efluente tratado;
- Repouso, para remoção do lodo excedente e ajuste de ciclos.

4.4.4 Reutilização do soro do leite

Como visto anteriormente, o soro é a parte líquida obtida na fabricação do queijo, sendo o resíduo que causa maior preocupação quanto à destinação, em virtude de sua alta taxa de matéria orgânica. O seu encaminhamento para as unidades de tratamento de efluentes pode ser motivo para altos custos de construção, pois o aporte de matéria orgânica nos reatores biológicos seria muito maior. Assim, a utilização do soro e a minimização do seu descarte constituem tópicos importantes no controle ambiental de laticínios (PRINCE *et al.*, 1999).

A conversão do soro de queijo em outros produtos tem se mostrado uma boa alternativa para que o descarte no meio ambiente seja evitado (GUEDES *et al.*, 2013). Entretanto, para pequenas e médias indústrias, alternativas economicamente viáveis para o reaproveitamento do soro são limitadas. Assim, é importante buscar uma atuação que não seja isolada, através de ações conjuntas, como a implantação de unidades estrategicamente localizadas que integrem o pré-processamento e o encaminhamento para o processamento do soro de um conjunto de empresas (MACHADO *et al.*, 2001).

O processamento industrial do soro pode ser realizado de variadas formas, empregando diversas tecnologias como Filtração, Evaporação, Centrifugação, Secagem, Tratamento Térmico, entre outras. A escolha dependerá do que se deseja produzir com o soro, como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 - Alternativas de aproveitamento do soro para as indústrias de laticínios

| PRODUTO | FORMA DE OBTENÇÃO |
|---------------------------|--|
| Ricota | Precipitação de proteínas do soro por aquecimento e acidificação |
| Bebida láctea | Produto elaborado a partir do soro de queijo acrescido de leite e outros componentes alimentares |
| Soro concentrado | Remoção da umidade do soro por tratamento térmico ou osmose reversa |
| Soro em pó | Secagem do soro com tratamento térmico (evaporador ou secador) |
| Alimentação animal | Soro utilizado <i>in natura</i> |

Fonte: Machado *et al.* (2001)

4.5 Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios – IAQML

O Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios (IAQML) foi criado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) diante da necessidade de se aprimorar o acompanhamento do monitoramento dos efluentes líquidos industriais de laticínios e de se estabelecer um panorama geral da situação ambiental desses empreendimentos em Minas Gerais. O relatório final sobre o IAQML foi concluído em 2015 e divulgado no site da FEAM (<http://www.feam.br/>).

A metodologia usada para a construção desse Índice foi o *Delphi*. Esse método consiste na consulta a um grupo de especialistas a respeito de determinado tema através de um questionário, que pode ser repassado até que seja obtida uma convergência das respostas, um consenso, que representa uma consolidação do julgamento do grupo. As características principais do *Delphi* são: o anonimato dos respondentes, a representação estatística da distribuição dos resultados, e o *feedback* de respostas do grupo para reavaliação nas rodadas. Ao aplicá-lo, entende-se que o julgamento coletivo, se bem organizado, é melhor do que a opinião de um só indivíduo (WRIGHT e GIOVINAZZO, 2000).

Após a aplicação do *Delphi*, foram definidos os indicadores e subindicadores que compõem o IAQML, bem como seus respectivos pesos. A Tabela 6 mostra a definição de cada indicador e seu peso no cálculo do índice.

Tabela 6 - Definição dos indicadores que compõem o IAQML

| INDICADORES | PESO RELATIVO |
|---|---------------|
| Indicador 1 (QE): Qualidade do efluente líquido industrial tratado | 40% |
| Indicador 2 (CP): Cumprimento do programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais | 20% |
| Indicador 3 (AL): Adequação dos laboratórios | 20% |
| Indicador 4 (DS): Destino do soro | 20% |

Fonte: adaptado de FEAM (2015)

4.5.1 Indicador 1 (QE) - Qualidade do efluente industrial tratado

Esse indicador visa avaliar a qualidade do efluente líquido industrial gerado por laticínios, após o tratamento, a partir da verificação do atendimento as legislações ambientais vigentes. Atualmente, o padrão para lançamento de efluentes no estado de Minas Gerais se encontra na DN COPAM/CERH nº 1/2008 ou na Resolução CONAMA nº 430/2011, sendo adotado o valor mais restritivo.

O indicador 1 (QE) possui 8 subindicadores que foram determinados por meio da metodologia *Delphi*. Eles consistem nos parâmetros considerados mais importantes para serem monitorados no que diz respeito à qualidade de efluentes de laticínios. A Tabela 7 apresenta quais são eles e seus respectivos pesos.

Tabela 7 - Subindicadores do indicador 1 (QE) do IAQML

| SUBINDICADORES: | PESO RELATIVO: |
|--|-----------------------|
| DBO – Demanda bioquímica de oxigênio | 19% |
| DQO – Demanda química de oxigênio | 19% |
| Óleos e graxas | 14% |
| Detergentes (substâncias tensoativas) | 10% |
| Sólidos em suspensão totais | 10% |
| Sólidos sedimentáveis | 10% |
| pH | 10% |
| Temperatura | 8% |

Fonte: FEAM (2015)

4.5.2 Indicador 2 (CP) - Cumprimento do programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais

O indicador 2 (CP) verifica o atendimento ao programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais. Em Minas Gerais, no processo de concessão de uma licença ambiental, é elaborado um parecer técnico por parte do órgão ambiental competente, de forma a subsidiar a análise da concessão pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). No âmbito das empresas em estudo, esse parecer é atualmente elaborado pela Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM) Central. Nesse parecer também são estabelecidas as condicionantes de licença, que são determinações que devem ser seguidas pela empresa como condição para que receba a licença. Dentre as condicionantes, se encontra o programa de automonitoramento, em que são definidos os controles ambientais que devem ser efetuados pela empresa, abrangendo os resíduos sólidos, os efluentes atmosféricos, os efluentes líquidos e o corpo receptor desses efluentes. São determinados nesse programa os pontos de monitoramento, os parâmetros que devem ser controlados e as frequências de monitoramento e de envio dos relatórios aos órgãos ambientais responsáveis.

Assim, esse Indicador avalia se o monitoramento de todos os parâmetros solicitados pelo órgão está sendo realizados, e se estão sendo cumpridas as

frequências de análise desses parâmetros e de envio dos relatórios de automonitoramento ao órgão ambiental. Diante disso, apresenta 3 subindicadores que também tiveram seus pesos relativos estabelecidos pelo *Delphi*, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 - Subindicadores do indicador 2 (CP) do IAQML

| SUBINDICADORES: | PESO RELATIVO: |
|--|----------------|
| Proporção de parâmetros monitorados em relação ao total de parâmetros solicitados no programa de automonitoramento | 41% |
| Proporção de períodos em que houve cumprimento da frequência de monitoramento solicitada no programa de automonitoramento | 33% |
| Proporção de períodos em que houve cumprimento da frequência de envio de relatórios solicitados no programa de automonitoramento | 26% |

Fonte: FEAM (2015)

4.5.3 Indicador 3 (AL) - Adequação dos laboratórios

O indicador 3 (AL) avalia se os laboratórios responsáveis pela realização das análises dos efluentes líquidos industriais dos laticínios estão de acordo com a legislação vigente na época de realização das análises. Até agosto de 2011, a legislação vigente que tratava a respeito desse aspecto era a DN COPAM nº 89 de 2005, na qual era estabelecido que os laboratórios para realizarem análises de efluentes deveriam estar cadastrados na FEAM. Após agosto de 2011, passou a ser vigente a DN COPAM nº 167/2011 e a partir dela, só são considerados válidos os ensaios realizados por laboratórios acreditados junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), nos termos da Norma Brasileira (NBR) ISO/IEC 17025, ou homologados pela Rede Metrológica estadual correspondente, integrante do Fórum de Redes Estaduais, e que também siga os requisitos da Norma NBR ISO/IEC 17025.

É importante dizer que o laboratório é acreditado ou homologado para cada parâmetro analisado. Sendo assim, um mesmo laboratório pode estar autorizado a realizar análises de alguns parâmetros, mas não ser regularizado para análise de outros.

4.5.4 Indicador 4 (DS) - Destino do soro

O indicador 4 (DS) avalia o destino do soro gerado na indústria de laticínios como correto ou incorreto, do ponto de vista ambiental. Ele só é aplicado para os casos onde há produção de queijos e seus derivados e, conseqüente, geração desse composto.

O destino considerado incorreto é apenas o lançamento do soro em quaisquer cursos d'água, seguindo a DN COPAM nº 41/2000, que proíbe essa destinação, independentemente do porte e do potencial poluidor/degradador do empreendimento.

4.5.5 Aplicação do IAQML pela FEAM

Após elaborado, o IAQML foi aplicado pela FEAM em 48 indústrias de laticínios localizadas no estado de Minas Gerais. Os resultados obtidos na aplicação do Índice também se encontram no Relatório Final do IAQML (FEAM, 2015).

Assim, foi obtida uma nota para cada empreendimento em todos os 4 indicadores de forma separada, bem como a nota final geral. Demonstrou-se que mais de 80% dos laticínios avaliados tem sua nota final no IAQML entre as faixas de qualidade excelente e bom, entretanto existem melhoras que ainda são necessárias.

Considerando o conjunto de todos os 48 empreendimentos, a nota média no Indicador 1 (QE) foi de 73,9% (faixa de qualidade Boa), no Indicador 2 (CP) foi de 67,2% (faixa de qualidade Média), 86,8% (faixa de qualidade Boa) no Indicador 3 (AL) e 100% (faixa de qualidade Excelente) no Indicador 4 (DS). Ressalta-se que a pior nota média foi no Indicador 2, sinalizando que o cumprimento do programa de automonitoramento por parte dos empreendimentos é o que está deixando mais a desejar dentre os critérios avaliados.

Quanto ao tipo de tratamento, verificou-se que o mais utilizado é o sistema de Lodos Ativados, o qual foi encontrado em 19 empreendimentos. Além disso, em outros 9 empreendimentos, os Lodos Ativados são utilizados em combinação com

outro sistema, como UASB ou Lagoas, reafirmando o que foi verificado na literatura sobre a ampla utilização dos Lodos Ativados.

Observou-se também ao se cruzar os dados das notas do Indicador 1 (QE) com os tipos de tratamento realizados pelos empreendimentos, que os sistemas de tratamento predominantemente aeróbios (como Lodos Ativados e Lodos Ativados combinados com Lagoas) tiveram as melhores notas para esse indicador, ficando com nota média de 84,7%, reforçando assim as altas eficiências de remoção de poluentes que esses sistemas apresentam, como comumente destacado na literatura.

5 METODOLOGIA

5.1 Revisão bibliográfica

Na elaboração desse trabalho, foi desenvolvida uma revisão bibliográfica, com consulta a publicações, artigos técnicos, relatórios, normas e legislações referentes ao tema proposto. Conforme apresentado anteriormente, essa revisão abordou o contexto em que está inserida a atividade de laticínios no Brasil, com enfoque na sua importância econômica e social. Para melhor compreensão do tema, nessa etapa também se caracterizou o setor, suas atividades, os efluentes líquidos gerados e algumas medidas e tecnologias que vêm sendo utilizadas para minimizar os impactos de alteração da qualidade das águas ocasionadas pelo lançamento desses efluentes.

Ainda na revisão bibliográfica, foi estudado o IAQML, incluindo seus indicadores e subindicadores, visto que esse índice foi aplicado para obtenção de alguns resultados do trabalho.

5.2 Escolha dos empreendimentos

Como objeto de estudo, foram escolhidas duas indústrias de laticínios localizadas no estado de Minas Gerais, sendo elas nomeadas nesse trabalho como Empresa A e Empresa B, para manutenção do anonimato. Essa escolha foi realizada através de levantamentos feitos no Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM) (<http://www.siam.mg.gov.br/>), um sistema online do Governo de Minas Gerais, seguindo alguns critérios:

- Os empreendimentos selecionados deveriam ser classificados, segundo a Deliberação Normativa n.º 74, de 09 de setembro de 2004, com o código D-01-06-6 e atividade “Preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios”;
- Os empreendimentos selecionados deveriam apresentar um programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais e de águas superficiais, definidos na condicionante de automonitoramento de suas licenças ambientais;

- Por fim, a proximidade do empreendimento com a cidade da autora também foi levada em consideração, de forma a viabilizar o trabalho;

5.3 Visitas técnicas e aplicação do questionário

Foi realizada uma visita a cada laticínio escolhido, sendo que essa visita foi guiada pelo funcionário responsável pela ETE na empresa. Assim, foi possível observar o sistema de tratamento em funcionamento e aplicar o questionário elaborado pela autora (APÊNDICE A). Ambas as visitas ocorreram no dia 15/12/2015.

O questionário elaborado continha perguntas importantes para auxiliar na compreensão do sistema de tratamento de efluentes das empresas escolhidas. De forma geral, foram abordadas questões sobre: o processo produtivo das empresas; o consumo de água e a existência de programas de redução; a quantidade de efluente líquido gerada; o histórico do sistema de tratamento de efluentes; os custos de implantação e operação da ETE; as dimensões e parâmetros de operação da estação; as características do corpo receptor dos efluentes; e as informações sobre o programa de automonitoramento definido em suas condicionantes de licença ambientais.

5.4 Consultas aos dados das Empresas

O acesso aos relatórios de automonitoramento dos efluentes líquidos das Empresas A e B foi realizado através de consulta ao SIAM, aos arquivos da SUPRAM Central e do Divisão de Documentação e Informação (DIINF), e via cópia das próprias empresas em estudo ou de consultorias ambientais por elas contratadas.

Os dados obtidos nos relatórios de automonitoramento foram compilados, usando o aplicativo *Excel*, de forma que permitissem a aplicação do IAQML, obtendo uma nota para os laticínios escolhidos.

5.5 Aplicação do IAQML

5.5.1 Período de análise dos relatórios de automonitoramento de efluentes

Para a Empresa A, foram utilizados na aplicação desse índice, os relatórios de automonitoramento de efluentes líquidos do período de julho de 2008 a dezembro de 2015. O motivo da escolha desse período de análise foi em função da publicação da DN 01/2008, em maio de 2008, quando foram estabelecidos novos limites para o lançamento de efluentes. Já para a Empresa B, foi escolhido o período de julho de 2008 a dezembro de 2014, em virtude de no ano de 2015 a empresa ter passado a dispor seus efluentes no solo e não mais no corpo receptor. Dessa forma, foram analisados 123 relatórios de automonitoramento da Empresa A e 67 relatórios da Empresa B, uma vez que as empresas apresentavam frequências de análise diferentes nas condicionantes de automonitoramento de suas licenças ambientais.

5.5.2 Cálculo das notas do IAQML

Para os Indicadores 3 (AL) e 4 (DS), que não possuem subindicadores, o cálculo da nota é feito a partir da multiplicação da **porcentagem total** obtida nesse indicador por seu **peso relativo** (Tabela 6). A porcentagem total será o percentual de vezes em que empreendimento está de acordo com o critério em avaliação.

Já para os Indicadores 1 (QE) e 2 (CP), que possuem subindicadores, inicialmente deve-se calcular a nota obtida em cada subindicador. Para isso, multiplica-se a **porcentagem total** de cada subindicador por seu **peso relativo**. A Tabela 7 apresenta os pesos relativos do Indicador 1, e a Tabela 8 indica os pesos relativos do indicador 2.

Após obter a nota para cada subindicador, elas são somadas, obtendo-se assim a **porcentagem total** do Indicador. Essa **porcentagem total** do Indicador deve ser multiplicada pelo seu **peso relativo** (Tabela 6), de forma a obter a nota do indicador. Assim, as notas individuais de cada indicador podem ser expressas pela Equação 1:

Equação 1:

$$Nota\ indicador = Porcentagem\ total * Peso\ relativo$$

Diante disso, a **nota final** do IAQML é calculada a partir do somatório das notas individuais de cada indicador, de acordo com a Equação 2:

Equação 2:

$$IAQML = \sum_{i=1}^4 I_i$$

Indicadores: I_1 (QE), I_2 (CP), I_3 (AL), I_4 (DS)

Ressalta-se que, foi realizado um ajuste nas notas quando não foi possível avaliar algum indicador ou subindicador. Nesse caso, o peso destes foi redistribuído para os demais indicadores ou subindicadores passíveis de serem avaliados, mantendo a proporção de cada um deles. Por exemplo, se não foi possível avaliar o Indicador 1, o peso desse Indicador foi redistribuído para os demais (Indicadores 2,3 e 4).

De acordo com os indicadores desse índice, foi possível avaliar: a qualidade do efluente líquido industrial tratado; o cumprimento do programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais; a adequação dos laboratórios responsáveis pela análise dos efluentes; e o destino do soro. O memorial de cálculo referente à aplicação do IAQML para ambas as empresas se encontra no APÊNDICE B deste trabalho.

Através da metodologia *Delphi*, também foram determinadas faixas de qualidade para a notas final do IAQML, sendo definidos cinco intervalos com a qualidade variando de muito ruim a excelente, como pode ser visto na Tabela 9.

Tabela 9 - Faixas de qualidade do IAQML

| FAIXA DE QUALIDADE | INTERVALO DO IAQML |
|--------------------|---------------------------------|
| Excelente | $89 \leq \text{IAQML} \leq 100$ |
| Bom | $70 \leq \text{IAQML} < 89$ |
| Médio | $50 \leq \text{IAQML} < 70$ |
| Ruim | $30 \leq \text{IAQML} < 50$ |
| Muito Ruim | $0 \leq \text{IAQML} < 30$ |

Fonte: FEAM (2015)

Essa classificação em faixas de qualidade também foi adotada nas análises dos resultados deste trabalho.

5.6 Análise da qualidade de água no corpo receptor dos efluentes

5.6.1 Período de análise dos relatórios de automonitoramento de águas superficiais

Os relatórios de análises da qualidade da água no corpo receptor dos efluentes, já realizadas pelos empreendimentos em cumprimento às suas condicionantes de automonitoramento, também foram considerados na análise sobre a eficiência das ETEs. O período de análise foi o mesmo adotado para os relatórios de efluentes líquidos. Assim, para a Empresa A, entre julho de 2008 e dezembro de 2015, encontrou-se nos arquivos consultados 13 laudos de análise de águas superficiais, e para a Empresa B, no período de junho de 2008 a dezembro de 2014, foram encontrados 31 relatórios.

5.6.2 Análises dos dados de qualidade das águas superficiais

Para auxiliar nas análises de qualidade das águas superficiais, confeccionou-se gráficos do tipo linha com os valores da série histórica de dados, e realizou-se testes estatísticos que informassem sobre as diferenças significativas entre as amostras. O objetivo desses testes foi verificar se os valores medidos para cada parâmetro de qualidade de água apresentaram diferença significativa quando

comparados a montante e a jusante do lançamento de efluentes tratados.

Antes das análises de significância, aplicou-se o teste de igualdade de variância pelo método de comparações múltiplas. Baseado no resultado obtido nesse teste, optou-se por aplicar o teste paramétrico t - quando houve homogeneidade de variância - ou, para os casos em que as variâncias não apresentaram-se homogêneas, o teste não paramétrico de Mann-Whitney (MONTGOMERY E RUNGER, 2009; SUPORTE AO MINITAB 17,2016). Os valores obtidos nos testes estatísticos para a Empresa A se encontra no APÊNDICE C e para a Empresa B no APÊNDICE D.

Todos os testes estatísticos foram realizados com um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$). Os testes de igualdade de variância, teste t e teste de Mann Whitney foram realizados no software Minitab 17. Ressalta-se que, para os dados registrados como abaixo do limite de detecção, empregou-se a metade desse valor limite na análise estatística, visto que tais registros não devem ser excluídos das análises estatísticas (USEPA, 2006).

6 RESULTADOS

6.1 Caracterização da Empresa A

A Empresa A está situada no estado de Minas Gerais, em um município que faz parte do chamado Colar Metropolitano de Belo Horizonte. A localização da fábrica fica na zona urbana, em uma região que, devido ao crescimento populacional, se tornou densamente povoada. Assim, o entorno da empresa é caracterizado pela presença de residências e comércios.

O empreendimento, atualmente, se enquadra como classe 5, indicando ser uma empresa de grande porte e médio potencial poluidor, conforme indicado na Tabela 10. Cabe ressaltar que, de acordo com a DN COPAM nº 74/2004, fica definido que empreendimentos caracterizados como D-01-06-6 (Preparação do leite e fabricação de produtos de laticínios) serão considerados sempre como de médio potencial poluidor.

Tabela 10 - Classificação quanto ao porte e potencial poluidor, de acordo com a DN COPAM nº 74/2004

| CÓDIGO DA DN COPAM Nº 74/2004 | POTENCIAL POLUIDOR | CAPACIDADE INSTALADA (CI) (L DE LEITE/DIA) | PORTE | CLASSE |
|-------------------------------------|-----------------------|--|-------|--------|
| D-01-06-6 | Médio | 500 < CI < 15.000 | P | 1 |
| | | 15.000 < CI < 80.000 | M | 3 |
| | | CI > 80.000 | G | 5 |

Fonte: Adaptado de FEAM (2015)

A capacidade instalada de recepção de leite da Empresa A é de 1.600.000 L/dia, mas atualmente o volume de recepção está entre 900.000 L/dia a 1.000.000 L/dia, ou seja, a empresa tem operado com 56% a 63% de sua capacidade instalada.

6.1.1 Processo produtivo

A Tabela 11 mostra quais os produtos fabricados pela Empresa A e qual a participação percentual de cada um deles no volume de leite recebido. Foi considerado que dentre o volume de leite recebido 1% é perdido, e, portanto, não é transformado em outros produtos.

Tabela 11 - Produtos produzidos na Empresa A e a participação percentual de cada um deles no volume de leite recebido

| PRODUTOS | PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL |
|------------------|-------------------------|
| Leite em pó | 76% |
| Leite condensado | 14% |
| Doce de leite | 6% |
| Creme de leite | 3% |

Fonte: Questionário aplicado à empresa pela autora

De forma geral, as etapas do processo produtivo dessa empresa consistem em: recepção, beneficiamento, produção e envase, sendo que, as etapas de produção em si irão variar de acordo com o produto que se deseja obter, como mostrado no item 4.2.

Em virtude de não haver produção de queijo nessa empresa, não há também a geração do soro.

6.1.2 Consumo de água

A Empresa A consome, em média, 1300 m³ de água por dia. A água consumida é oriunda prioritariamente de três poços subterrâneos. Foi implantado nesse laticínio um programa de redução do consumo de água. Para isso, a empresa instituiu um grupo de melhoria específica de redução de consumo de água com membros de vários setores da fábrica. Esse grupo propõe ações de melhoria contínua através de planos de ação, com prazos e responsabilidades definidas.

Assim, uma pequena parte do abastecimento do laticínio é oriunda do reuso de águas. A empresa possui uma Estação de Tratamento de Água (ETA), que utiliza

água recuperada dos processos de condensação da secagem do leite em pó e leite condensado, sendo essa água aproveitada novamente no processo produtivo. Quase todos os processos de produção são realizados através da concentração do leite, em alguns produtos retirando até 97% da água existente. Esta, por sua vez, passa a ser chamada de água condensada, e será tratada pelo processo de ultrafiltração na estação. Essa filtração é baseada no uso de membranas capazes de impedir a passagem de vírus, bactérias e sólidos suspensos.

A ETA da Empresa A tem capacidade de tratar até 462 m³/dia. No período de 2010 a 2013, a economia de água atingida foi equivalente a 356.000 m³ e, durante o ano de 2013, 22% do volume de água consumida na Empresa A foi oriunda da ETA.

A principal dificuldade para redução do consumo de água na Empresa A está relacionada à necessidade de limpeza e higienização dos equipamentos.

6.1.3 Origem dos efluentes líquidos

Os efluentes da empresa são gerados em diversos pontos. A Tabela 12 mostra as variadas origens tanto para os efluentes industriais quanto sanitários, bem como o percentual que cada ponto representou do total de efluentes gerados em determinado mês.

Tabela 12 - Origem dos efluentes na Empresa A e a contribuição percentual de cada ponto de geração em determinado mês

| DESPEJO | ORIGEM | PERCENTUAL |
|--|--|-------------|
| Efluente industrial | Processo industrial | 37,7% |
| | Lavagem de pisos e equipamentos | 34,9% |
| | Resfriamento de refrigeração | 3,8% |
| | Efluente proveniente das águas de condensação dos concentradores, extravasamento dos tanques de retorno de condensação das caldeiras, água de selagem das bombas, purgas da linha de vapor e extravasamento das águas de resfriamento dos compressores | 15,7% |
| | Produção de vapor | 7,9% |
| | Total | 100% |
| Esgoto sanitário | Vestiário | 55,1% |
| | Lavanderia | 25,2% |
| | Refeitório | 19,7% |
| | Total | 100% |
| Relação efluente industrial/sanitário | 30:1 | |

Fonte: RADA elaborado pela Empresa A (2009)

6.1.4 Características do sistema de tratamento de efluentes

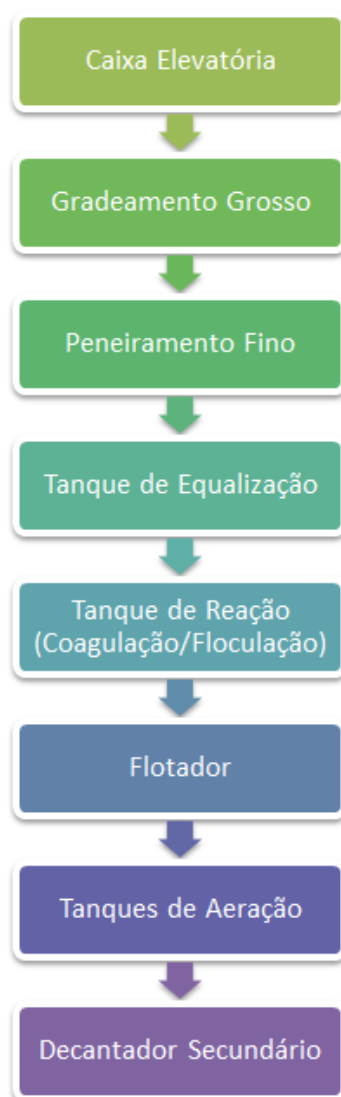
Na Empresa A tem-se a geração de efluentes sanitários e industriais, sendo que o tratamento de ambos os efluentes ocorre na mesma ETE. Assim, a vazão média total de efluentes gerados e enviados para tratamento é de 1900 m³/dia. Cabe ressaltar que ocorrem picos de vazão em momentos de limpeza *Clean In Place* (CIP) Geral em circuito fechado, tendo um significativo aumento na geração de efluente. Já nos horários em que a produção é mais baixa, tem-se um decréscimo dessa vazão. A produção do laticínio funciona 24 horas por dia, assim como a sua ETE.

O sistema de tratamento adotado é físico-químico e biológico. A escolha desse tipo de tratamento foi feita devido às características do efluente, rico em matéria orgânica biodegradável. O sistema inicialmente adotado começou a operar em maio de 1999, sendo ele essencialmente físico e biológico, composto

basicamente pelo Gradeamento, Peneiramento Fino, Equalizador, Tanques de Aeração e Decantador Secundário. Entretanto, em virtude de diversas reclamações de emanção de odor pelos moradores no entorno da ETE, foi necessário modificá-la, implantando em maio de 2008 as etapas físico-químicas de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido. Além disso, cobriu-se o Tanque de Equalização, com o objetivo de atenuar a dispersão dos odores que ocorriam nessa unidade.

A Figura 12 mostra as unidades que atualmente compõem o sistema da ETE.

Figura 12 - Fluxograma das unidades que compõem a ETE da Empresa A



Fonte: Própria autora

Da Figura 13 à Figura 19 são ilustradas essas unidades de tratamento do sistema da Empresa A.

Figura 13 - Caixa elevatória e gradeamento grosso na ETE da Empresa A



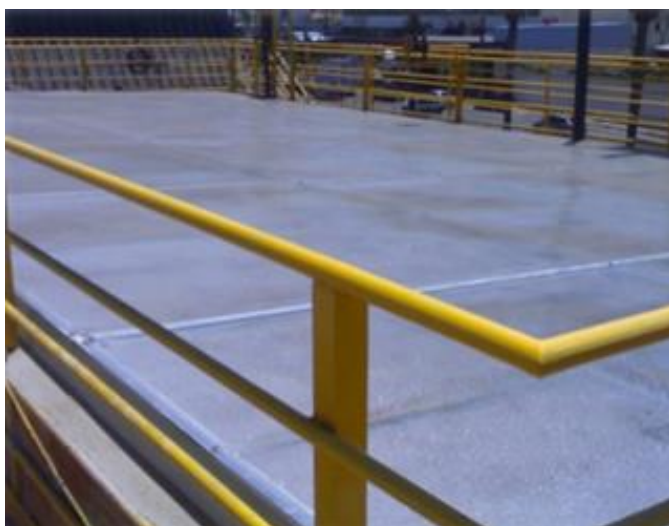
Fonte: Fornecida pela Empresa A

Figura 14 - Peneiramento Fino na ETE da Empresa A



Fonte: Fornecida pela Empresa A

Figura 15 - Tanque de Equalização na ETE da Empresa A



Fonte: Fornecida pela Empresa A

Figura 16 - Tanque de Reação (Coagulação e Floculação) na ETE da Empresa A



Fonte: Fornecida Empresa A

Figura 17 - Flotador na ETE da Empresa A



Fonte: Fornecida pela Empresa A

Figura 18 - Tanques de Aeração na ETE da Empresa A



Fonte: Fornecida pela Empresa A

Figura 19 - Decantador Secundário na ETE da Empresa A



Fonte: Fornecida pela Empresa A

Ressalta-se que a ETE da empresa possui dois tanques de aeração. As dimensões de alguns desses componentes da ETE são mostradas na Tabela 13.

Tabela 13 - Dimensões das unidades da ETE da Empresa A

| UNIDADE DA ETE | FORMATO | DIMENSÕES |
|------------------------------|------------|--|
| Caixa Elevatória | Retangular | Largura = 3,5m Comprimento = 3,5m |
| Tanque de Equalização | Retangular | Altura = 6,0m Largura = 6,0m Comprimento = 16,0m |
| Flotador | Circular | Diâmetro = 8,80m |
| Tanques de Aeração | Retangular | Altura = 6,2m Largura = 6,2m Comprimento = 6,2m |
| Decantador Secundário | Circular | Diâmetro = 15,0m Profundidade = 3,0m Volume: 530m ³ |

Fonte: Questionário aplicado à empresa pela autora

Sobre a vazão de projeto, inicialmente a ETE foi projetada para receber uma vazão média diária igual a 1.800 m³/dia. Para o cálculo dessa vazão foi usada a capacidade de aplicação de leite (1.200.000 L/dia) e a relação entre efluente gerado e litro de leite aplicado igual a 1,5 (NATRON SB, 1998). Entretanto, no projeto de readequação da ETE feito pela própria Empresa A, em 2007, foi possível aumentar a vazão de projeto para 125 m³/h ou 3000 m³/dia.

Como visto, o sistema biológico adotado é o de Lodos Ativados (Tanques de Aeração e Decantador Secundário), com fluxo contínuo. O motivo da escolha desse tipo de tratamento foi devido a pouca disponibilidade de área para implantação da ETE.

Já a respeito do Tempo de Detenção Hidráulica, nos Tanques de Aeração, esse parâmetro é atualmente de 6 horas e 30 minutos e a idade média do lodo é entre 13 e 14 dias. Entretanto, no memorial descritivo o sistema foi dimensionando usando a idade do lodo igual a 20 dias (NATRON SB, 1998). Foi observado também, que o sistema tem operado atualmente com TDH característico do sistema de Lodos Ativados Convencional (TDH entre 6 e 8 horas) (von SPERLING, 2014), apesar de

no memorial descritivo elaborado por Natron SB (1998) constar que ele foi projetado para funcionar como de aeração prolongada.

Com relação ao custo de operação do sistema da ETE, incluindo nesse caso, custos de manutenção, de análises físico-químicas, de pessoal, de energia, dentre outros, a Empresa A tem um gasto mensal médio de R\$ 87.500,00, sendo que, o dispêndio com a operação do sistema de tratamento de efluentes industriais representa menos que 5% do custo total da empresa.

Após o tratamento, o efluente é lançado em um córrego do município (Figura 20), sendo esse considerado Classe 2, conforme classificação definida por IGAM (2013). No córrego em questão, são lançados também os efluentes industriais de diversos outros empreendimentos, tanto a montante quanto a jusante do lançamento da Empresa. Assim, é um curso d'água que sofre com alto grau de poluição em virtude do acúmulo de poluição que recebe. Segundo dados do SNIS (2014), o percentual de tratamento de esgotos no município era de apenas 13%, e isso também contribui significativamente para a deterioração da qualidade das águas no córrego em questão, visto que ele recebe parte desses efluentes domésticos não tratados (IGAM, 2013).

Figura 20 - Lançamento do efluente tratado no córrego



Fonte: Fornecido pela própria empresa

No sistema de tratamento de efluentes da Empresa A, são gerados dois tipos de lodo: no Decantador Secundário, é gerado o lodo chamado biológico e no Flotador, tem-se o lodo físico-químico. O lodo biológico é inicialmente adensado e

posteriormente enviado para uma centrífuga (etapa de desidratação); já o físico-químico é diretamente encaminhado para outra centrífuga.

Cabe ressaltar que o uso da centrífuga para desaguamento do lodo ocupa uma menor área e emana menos odores, sendo adequado para o caso da Empresa A, que se localiza em uma área urbana e possui pouca área disponível para realização do tratamento (von SPERLING, 2014). Apesar disso, esse tipo de processo, apresenta um maior custo de implantação e maior complexidade operacional do que, por exemplo, os leitos de secagem.

Após a centrífuga, tanto o lodo biológico, como o físico-químico são enviados para a reciclagem biológica, através da sua utilização como adubo nas áreas de pastagens numa das granjas da Empresa A pelo processo de *landfarming*.

Como já dito anteriormente, foram registradas recorrentes reclamações de moradores da região a respeito do cheiro forte vindo da ETE da empresa. A esse respeito, observou-se que, em função do sistema ter sido projetado como lodos ativados de aeração prolongada, não foi prevista etapa de digestão do lodo. A falta dessa etapa em um sistema que não funcione com aeração prolongada pode causar emanção de maus odores pelo lodo durante seu tratamento e disposição final, através da decomposição anaeróbia da matéria orgânica, em condições não controladas (von SPERLING, 2014).

6.1.5 Programa de automonitoramento definido em licença ambiental

Durante o período analisado, houve vigência de dois programas de automonitoramento para a Empresa A. O primeiro teve início em fevereiro de 2005 (data de concessão da Licença de Operação), permanecendo vigente até a concessão da renovação da licença, em março de 2011. Após essa data, um novo programa foi definido, estando ele em vigor até o fim do período de análise. A Tabela 14 mostra o programa de automonitoramento para efluentes líquidos.

Tabela 14 - Programa de automonitoramento de efluentes líquidos da Empresa A

| CONCESSÃO DA LICENÇA | PONTO DE AMOSTRAGEM | PARÂMETROS | FREQUÊNCIA DE ANÁLISE | FREQUÊNCIA DE ENVIO |
|----------------------|----------------------------------|---|-----------------------|---|
| 02/2005 | Entrada e saída da ETE | pH, temperatura, sólidos sedimentáveis, vazão média, DQO, DBO, sólidos suspensos, detergentes, óleos e graxas | Quinzenal | Mensal até o dia 10 do mês subsequente |
| 03/2011 | Entrada e saída da ETE | pH, DBO, DQO, sólidos sedimentáveis, sólidos em suspensão, óleos e graxas, ABS, temperatura, vazão média, nitrogênio amoniacal, fósforo, cloretos, turbidez | Mensal | Semestral até o dia 10 do mês subsequente |
| 02/2005 | Montante e jusante do lançamento | Não definido | Não definido | Não definido |
| 03/2011 | Montante e jusante do lançamento | pH, DBO, OD, sólidos em suspensão, sólidos sedimentáveis, nitrogênio amoniacal, cloretos, fósforo, óleos e graxas, ABS, temperatura | Semestral | Semestral |

Fonte: FEAM (2004); SUPRAM Central (2011)

6.2 Caracterização da Empresa B

A Empresa B também está localizada em um município do Colar Metropolitano de Belo Horizonte. O local onde a fábrica está situada é considerado pelo município como área urbana, entretanto ressalta-se que o entorno apresenta aspecto rural, estando em uma área pouco povoada e com predomínio de atividades ligadas a pecuária extensiva.

Segundo a DN COPAM Nº 74/2004, a sua classe é 3, indicando ser um empreendimento de médio potencial poluidor e médio porte, conforme pode ser verificado na Tabela 10.

A capacidade instalada da empresa, até 2011, era de 30.000 L/d. Após essa data, houve uma ampliação e a capacidade passou a ser de 80.000 L/d. Atualmente, a empresa recebe entre 35.000 a 40.000 L/d de leite, operando assim com cerca de 44% a 50% da sua capacidade máxima de recepção.

6.2.1 Processo produtivo

Na Empresa B são fabricados atualmente variados produtos, sendo eles: bebida láctea, iogurte tradicional e light, leite UHT, sucos, requeijão culinário e requeijão pastoso.

As etapas do processo de produção consistem em recepção, resfriamento, beneficiamento, estocagem, envase e estocagem em câmara fria. Com exceção do leite UHT, em que a estocagem em câmara fria é dispensada. Novamente, ressalta-se que as fases do beneficiamento variam de acordo com o produto final que se deseja obter.

Nessa empresa há produção de requeijão, um tipo de queijo chamado fundido, obtido por coagulação ácida e/ou enzimática do leite (ABIQ, 2016; BRASIL, 1997). Como acontece no processo produtivo de queijos em geral, a fabricação desse produto tem a etapa de dessoragem, gerando o soro como subproduto. A quantidade gerada é em média 10.000 L/d, sendo 100% desse subproduto reaproveitado pela própria empresa no processo produtivo das bebidas lácteas. Esse soro só pode ser reaproveitado na fabricação de bebidas lácteas porque é produzido a partir da massa enzimática (soro doce), não sendo de caráter muito ácido, como os oriundos da coagulação ácida (MACHADO et al., 2002).

Cabe ressaltar que, até setembro de 2015, também era produzido manteiga no laticínio B. Esse produto gera em sua fabricação o leitelho, um efluente de elevada carga orgânica, que assim como o soro, não se recomenda que seja misturado aos demais efluentes industriais, pois pode comprometer a eficiência do sistema de tratamento. Era dado a esse leitelho o mesmo destino dado ao soro.

6.2.2 Consumo de água

A Empresa B tem uma vazão média de consumo de água igual a 200 m³/d. No momento, não estava implantado nenhum projeto objetivando a redução desse consumo, contudo eram previstos três projetos futuros visando esse fim. A água consumida é oriunda de um poço tubular localizado na área do empreendimento.

Um desses programas de redução do consumo de água consiste na colocação de solenoides nas bombas do sistema de resfriamento, atuando como válvulas reguladoras da vazão de água consumida. Um segundo projeto é a mudança dos dispersores de água nos tanques de limpeza do modelo *spray ball*, conhecido também como “chuveirinho”, para *spray* giratório com jato de água, isso porque esse último libera a água com maior pressão diminuindo o consumo da mesma. Por fim, o empreendimento pretende recuperar a água de alguns processos e tratá-la através de métodos físico-químicos para reutilizar nas caldeiras. O método de tratamento previsto consiste basicamente em neutralização, floculação e resinas de troca catiônica.

Segundo informado pela Empresa B, a sua principal dificuldade para redução do consumo de água é a falta de treinamento dos funcionários. Portanto, sugere-se a realização de um programa interno de educação ambiental, visando à conscientização dos funcionários sobre a importância de preservar os recursos ambientais, em especial, os recursos hídricos.

6.2.3 Origem dos efluentes líquidos

Os efluentes líquidos são gerados nos diversos setores do processo produtivo, recebendo as contribuições provenientes da plataforma de recepção, lavagem de caminhões (Figura 21), lavagem de pisos e equipamentos, estocagem de leite, seções de salga, secagem, maturação e estocagem, sistemas de geração de frio e de vapor, além do esgoto sanitário.

Figura 21 - Pátio de lavagem dos caminhões na Empresa B



Fonte: Própria autora

Esses efluentes são caracterizados pela elevada concentração de matéria orgânica, presença de matéria graxa, presença de sólidos em suspensão e pH básico.

6.2.4 Características do sistema de tratamento

A Empresa B realiza o tratamento de seus efluentes líquidos industriais e sanitários no mesmo sistema. A vazão média dos efluentes sanitários é varia entre 1 e 2 m³/h. Já a respeito da vazão dos efluentes industriais - a mais significativa para o tratamento - verificou-se através de consulta aos relatórios de automonitoramento de efluentes líquidos da empresa que, ao longo do período analisado, seguiu um padrão, com a vazão média equivalente a cerca de 5,6 m³/h ou 134,4 m³/d, considerando o tempo de operação, informado pela empresa, de 24 horas.

Segundo Engenho 9 (2004), inicialmente, o sistema foi dimensionado para tratar apenas 78,5 m³/d, considerando para isso uma vazão de efluentes sanitários igual a 7,0 m³/d, somada à vazão de efluentes industriais equivalente 71,5 m³/d (6,25 m³/h x 11,44 h – tempo de operação considerado). Sendo assim, no período analisado a ETE estava operando com uma vazão superior à projetada.

Os picos de vazão acontecem mais nos finais de semana, pois é quando é realizada a limpeza de todos os tanques. A produção de iogurte bandeja e leite UHT

funcionam 24 horas por dia, em três turnos, os demais produtos são fabricados em apenas um turno. Como dito anteriormente, a ETE também funciona 24 horas por dia, existindo um sistema de boias no Tanque de Equalização para ajudar na regularização das vazões.

O sistema de tratamento é físico-químico e biológico. Ele foi implantado em agosto de 2003, mas foi completamente finalizado apenas em novembro de 2004 (quando a Lagoa Aerada Facultativa começou a funcionar).

A Figura 22 mostra as unidades que inicialmente compunham a ETE da Empresa B

Figura 22 - Fluxograma com as unidades da ETE da Empresa B



Fonte: Própria autora

Os efluentes sanitários passam por um pré-tratamento em tanque séptico antes de serem encaminhados para o tratamento primário e, posteriormente, à etapa de tratamento secundário (tratamento em conjunto com os despejos industriais).

Esse sistema foi adotado em virtude de sua praticidade e baixo custo de operação, uma vez que não há exigência de mão de obra especializada, nem instrumentação complexa para a obtenção de um bom nível operacional.

Nas Figura 23 a Figura 29 são ilustrados os componentes do sistema da Empresa B.

Figura 23 - Entrada do efluente industrial bruto na estação de tratamento da Empresa B



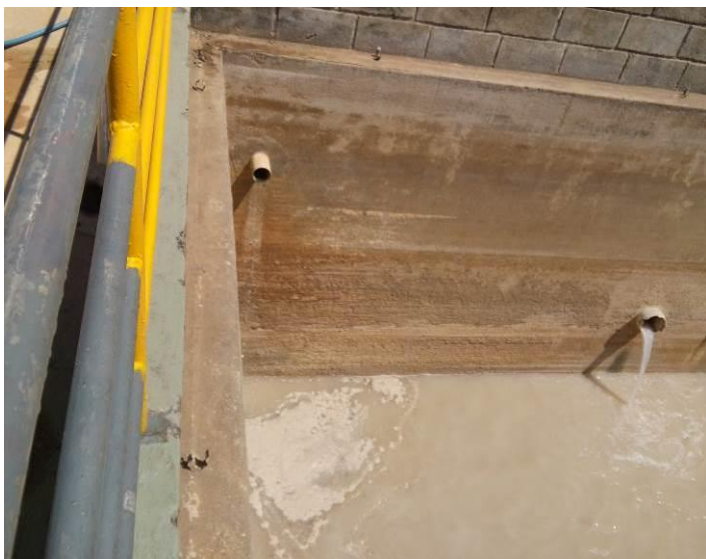
Fonte: Própria autora

Figura 24 - Caixa de Gordura da Empresa B



Fonte: Própria autora

Figura 25 - Tanque de Equalização da Empresa B



Fonte: Própria autora

Figura 26 - Flotador da Empresa B



Fonte: Própria autora

Figura 27 - Filtro Anaeróbio (ao fundo) e Flotador (à esquerda) da Empresa B



Fonte: Engenho 9 (2011a)

Figura 28 - Lagoa Aerada Facultativa da Empresa B



Fonte: Própria autora

Figura 29 - Leito de Secagem da Empresa B



Fonte: Própria autora

As dimensões de algumas das unidades do sistema de tratamento são mostradas na Tabela 15.

Tabela 15 - Dimensões de algumas das unidades que compõem a ETE da Empresa B

| UNIDADE DA ETE | FORMATO | DIMENSÕES |
|---------------------------------|------------|---|
| Peneiras | Malha | 0,5mm |
| Tanque de Equalização | Retangular | Largura = 6,8m Comprimento = 6,8m Profundidade = 3,7m Profundidade útil = 1,7m TDH = 24 h |
| Flotador | Circular | Diâmetro = 2,35m Profundidade = 2,7m TDH = 3 h |
| Filtro Anaeróbio | Retangular | Largura = 25,0m Comprimento = 12,6m Profundidade = 6,8m TDH = 2,7 dias |
| Lagoa Aerada Facultativa | Circular | Largura = 25,0m Comprimento = 53,0m Profundidade = 3,0m TDH = 42 dias |
| Leito de Secagem | Retangular | Largura = 4,0m Comprimento = 8,0m Profundidade = 0,35m |

Fonte: Adaptado de Engenho 9 (2011b)

Esse sistema passou por algumas modificações. Em novembro de 2014, a etapa do Filtro Anaeróbio foi retirada, e de forma compensatória, a aeração na Lagoa Facultativa foi intensificada. Foi acrescentado também um reservatório pulmão (Figura 30) após essa lagoa. Outra alteração no sistema foi o acréscimo, em abril de 2015 de uma nova etapa química utilizando dois tanques para coagulação e floculação – tanques de reação (Figura 31). O esquema do sistema atual da ETE e a sua vista geral são mostrados respectivamente na Figura 32 e na Figura 33.

Figura 30 - Tanque Pulmão da Empresa B, em construção



Fonte: Própria autora

Figura 31 - Tanques de Coagulação e Floculação



Fonte: Própria autora

Figura 32 - Fluxograma da ETE que atualmente está em operação na Empresa B



Fonte: Própria autora

Figura 33 - Vista geral da ETE da Empresa B, conforme configuração atual



Fonte: Própria autora

Até janeiro de 2015, os efluentes tratados eram encaminhados a um corpo d'água considerado Classe 2, conforme orientação expressa na Resolução CONAMA 357/2005, visto que ainda não foi realizado o seu enquadramento. O rio em questão atravessa o terreno da empresa e atende às propriedades rurais nas proximidades da região. Após essa data, os efluentes passaram a ser dispostos no solo, em uma área com vegetação composta apenas por gramíneas.

Durante o ano de 2015, a empresa desenvolveu um projeto para reutilizar esses efluentes na fertirrigação de milho, em virtude do empreendimento estar localizado em área com características rurais e ter grandes áreas verdes em seu entorno. Esse projeto foi colocado em prática a partir de janeiro de 2016. Um desafio na implementação da fertirrigação é a alta concentração de sódio nos efluentes dessa indústria, o que pode vir a ser prejudicial ao solo.

O lodo da ETE é gerado principalmente no Flotador ($0,84 \text{ m}^3/\text{d}$) e também era gerado no Filtro Anaeróbio ($47,45 \text{ m}^3/\text{ano}$), visto que na Lagoa Aerada Facultativa, a quantidade de lodo gerada é muito pequena em relação à sua área, demorando-se anos até que seja necessária sua remoção – o projeto da ETE prevê a retirada desse lodo de 10 em 10 anos. O lodo do Filtro Anaeróbio era encaminhado para os leitos de secagem, em seguida para a desinfecção com cal, sendo posteriormente incorporados ao solo em áreas de jardins e gramado. Já a gordura do Flotador era inicialmente doada para terceiros para fabricação de sabão, mas após a retirada do Filtro Anaeróbio, passou a ser encaminhada para o Leito de Secagem. Também há a geração de lodo na fossa séptica, cerca de $1 \text{ m}^3/\text{ano}$ (ENGENHO 9, 2004). Atualmente, o Leito de Secagem recebe o lodo apenas do tanque séptico e do Flotador, em virtude do Filtro Anaeróbio ter sido desativado. Os resíduos do Leito de Secagem são retirados, quando necessário, e enviados para uma empresa que o reaproveita no processo de compostagem, entretanto ressalta-se que é necessária atenção no uso que será dado a esse composto em virtude da presença de patógenos, que é bem comum em efluentes sanitários.

Outra informação importante sobre o histórico da ETE, foi a necessidade de troca da membrana de impermeabilização da Lagoa Aerada Facultativa. Em virtude de falhas na colocação da manta, a mesma sofreu insuflação, indicando a entrada de ar e colocando em risco a sua capacidade de impermeabilizar. Assim, entre fevereiro e julho de 2015, a lagoa precisou ser paralisada, para que fosse esvaziada e uma nova manta fosse colocada.

6.2.5 Programa de automonitoramento definido em licença ambiental

Para a Empresa B, durante o período de análise, esteve vigente apenas um programa de automonitoramento, sendo este referente à Licença de Operação concedida em novembro de 2005. A Tabela 16 mostra o que foi definido nesse programa a respeito dos efluentes líquidos.

Tabela 16 - Programa de automonitoramento de efluentes líquidos da Empresa B

| CONCESSÃO DA LICENÇA | PONTO DE AMOSTRAGEM | PARÂMETROS | FREQUÊNCIA DE ANÁLISE | FREQUÊNCIA DE ENVIO |
|----------------------|----------------------------------|---|-----------------------|---------------------|
| 11/2005 | Entrada e saída da ETE | pH, temperatura, sólidos sedimentáveis, vazão média, DQO, DBO, sólidos suspensos, detergentes, óleos e graxas | Mensal | Não definido |
| 11/2005 | Montante e jusante do lançamento | Vazão média, pH, temperatura, OD, DBO, óleos e graxas, detergentes, sólidos dissolvidos, condutividade | Bimestral | Não definido |

Fonte: Adaptado de FEAM (2005)

6.3 Aplicação do IAQML

6.3.1 Resultado do Indicador 1 (QE) - Qualidade do efluente industrial tratado

No caso da Empresa A, a porcentagem total de atendimento à DN COPAM 01/2008 para esse indicador foi de 96,3%, indicando que, no período analisado, a empresa teve um desempenho considerado excelente no que diz respeito à qualidade do seu efluente industrial após o tratamento. A Tabela 17 apresenta quais foram as notas obtidas para cada subindicador que compõe o Indicador 1, bem como a porcentagem total do indicador, obtida através da soma dessas notas.

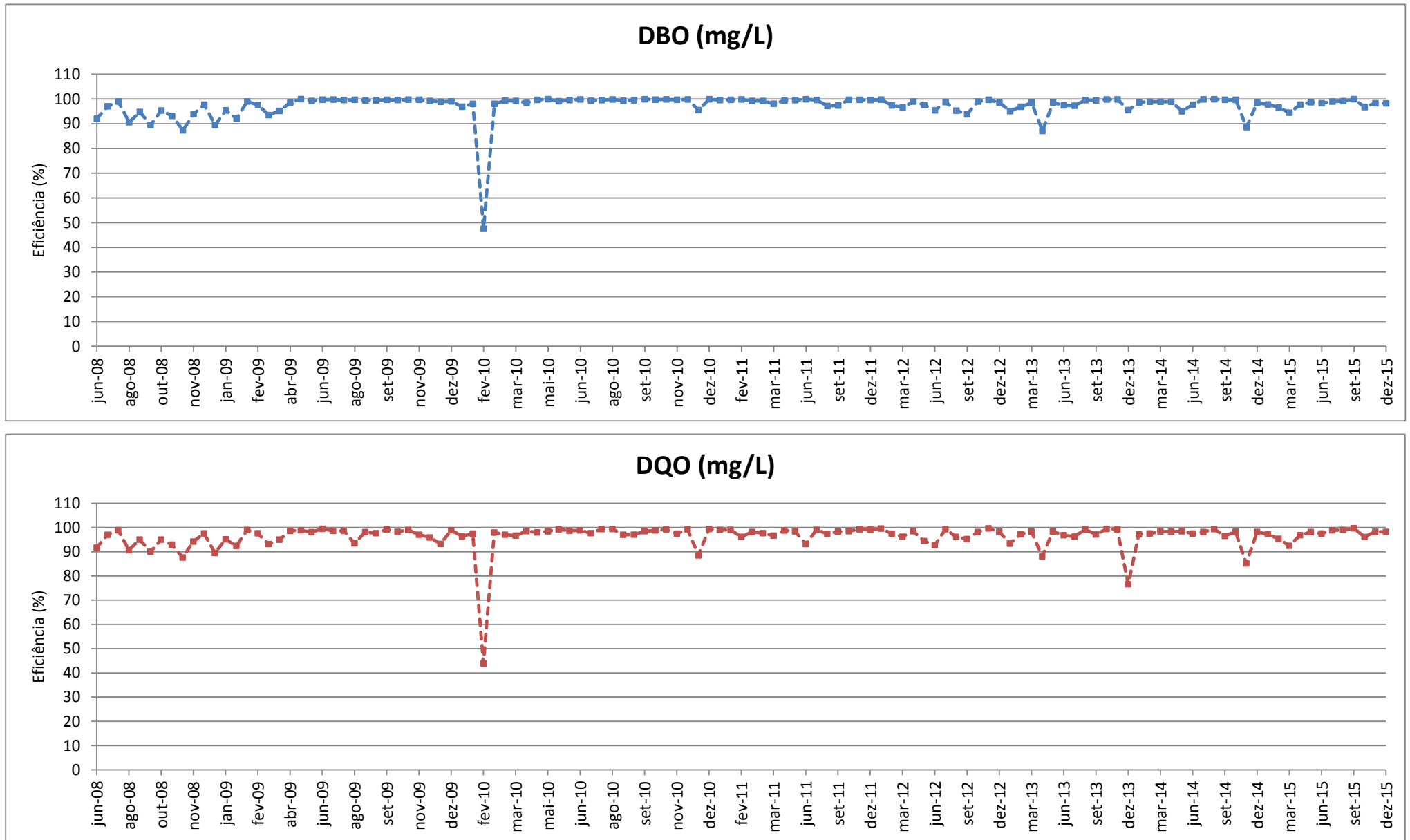
Tabela 17- Resultado do Indicador 1 (QE) para a Empresa A

| SUBINDICADORES | PORCENTAGEM TOTAL DE ATENDIMENTO | PESO RELATIVO | NOTA |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------|-------|
| DBO | 100,0% | 19% | 19,0% |
| DQO | 100,0% | 19% | 19,0% |
| Óleos e Graxas | 100,0% | 14% | 14,0% |
| pH | 100,0% | 10% | 10,0% |
| Temperatura | 98,2% | 8% | 7,9% |
| Detergentes | 94,2% | 10% | 9,4% |
| Sólidos Suspensos | 90,9% | 10% | 9,1% |
| Sólidos Sedimentáveis | 79,2% | 10% | 7,9% |
| Porcentagem total do indicador | | | 96,3% |

Como observado, a DBO e DQO atenderam à legislação em 100% dos relatórios. É importante destacar esse resultado, visto que a alta carga orgânica é a principal característica dos efluentes de laticínios.

Cabe ressaltar, que a DN COPAM 01/2008 permite avaliar os valores de DBO e DQO de duas formas: através do limite máximo definido para o lançamento ou mediante ao atendimento de uma eficiência de remoção mínima. Foi verificado, a respeito desses parâmetros, que o atendimento à legislação em 100% das vezes foi principalmente em virtude da alta eficiência do sistema, permanecendo sempre acima do mínimo estabelecido, mesmo quando o limite máximo para lançamento dos valores de DBO e DQO era ultrapassado. A Figura 34 ilustra os valores de eficiência de remoção do sistema de tratamento obtidos na série histórica estudada, tanto para DBO quanto DQO.

Figura 34 - Eficiência de remoção de DBO e DQO no período de junho de 2008 a dezembro de 2015 para a Empresa A



A maior parte dos subindicadores apresentaram valores excelentes de atendimento aos padrões legais. A exceção foi apenas o parâmetro sólidos sedimentáveis, que se enquadrou numa faixa de qualidade considerada boa. Os sólidos suspensos foi o segundo parâmetro com pior nota, apesar de ter permanecido na faixa Excelente. Uma possível justificativa para isso é a falta de equilíbrio no balanço de lodo no Tanque de Aeração, visto que, segundo von Sperling (2014), é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução, pois caso contrário, o excesso da população de bactérias poderia dificultar a transferência de oxigênio, diminuindo a eficiência de remoção no tanque. Dessa forma, o Decantador Secundário ficaria sobrecarregado, e os sólidos não teriam mais condições de sedimentar satisfatoriamente, vindo a sair com o efluente final. Machado *et al.*(2002) também tratam desse assunto, destacando que um dos principais problemas operacionais do sistema de lodos ativados é a dificuldade de sedimentação do lodo.

Para a Empresa B, o resultado obtido no Indicador 1 foi igual a 91,1%. Isso significa que, de maneira geral, a empresa atendeu de forma excelente aos limites da DN COPAM 01/2008 para lançamento de efluentes no período estudado. A Tabela 18 apresenta a nota obtida para esse indicador e seus subindicadores, mostrando o atendimento à legislação de forma específica para cada parâmetro previamente definido.

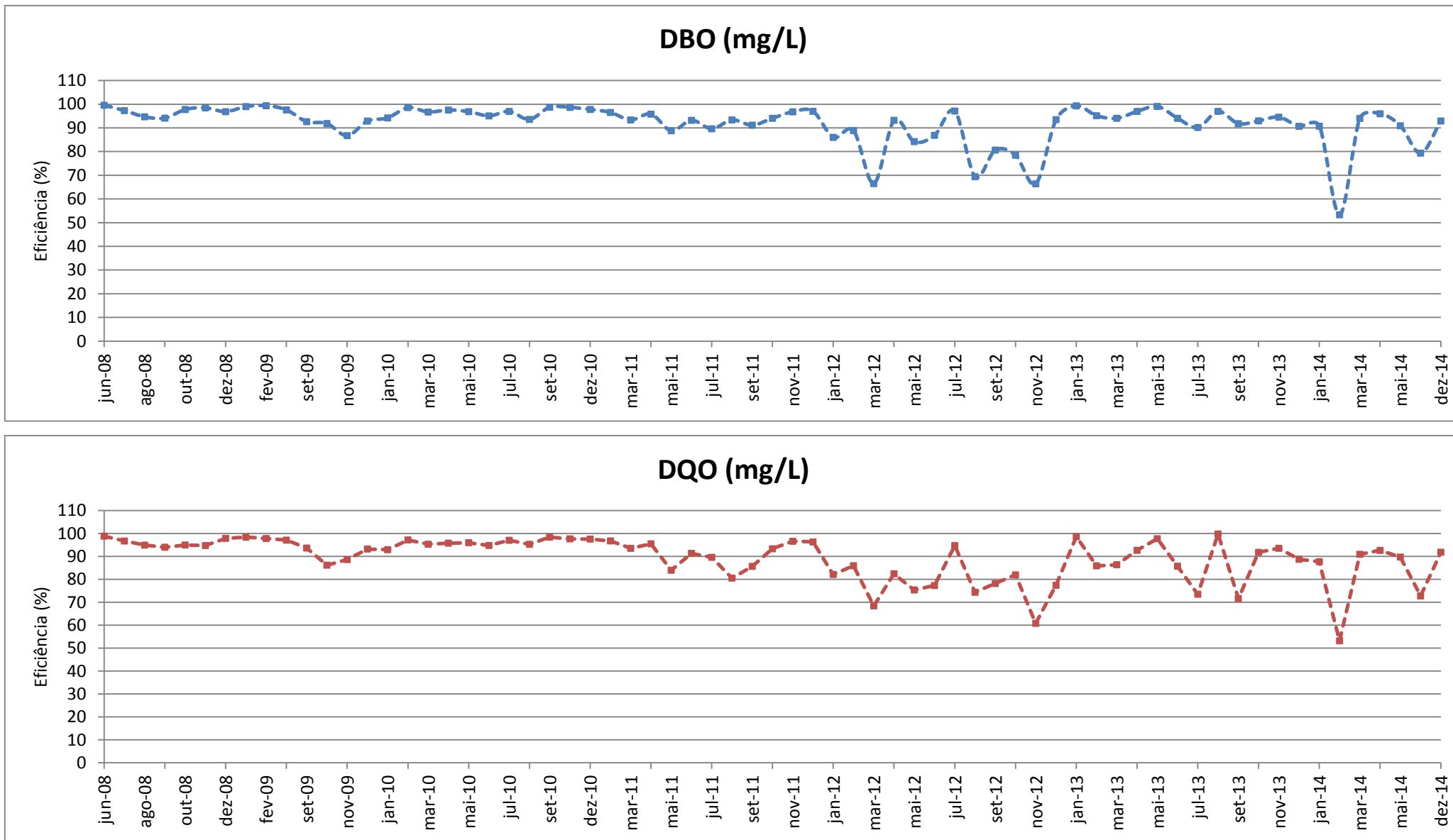
Tabela 18 - Resultado do Indicador 1 (QE) para a Empresa B

| SUBINDICADORES | PORCENTAGEM TOTAL DE ATENDIMENTO | PESO RELATIVO | NOTA |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------|-------|
| Temperatura | 100,0% | 8% | 8,0% |
| Sólidos Sedimentáveis | 98,5% | 10% | 9,9% |
| Óleos e Graxas | 95,5% | 14% | 13,4% |
| DQO | 95,5% | 19% | 18,1% |
| pH | 92,3% | 10% | 9,2% |
| Detergentes | 88,1% | 10% | 8,8% |
| DBO | 83,6% | 19% | 15,9% |
| Sólidos Suspensos | 77,6% | 10% | 7,8% |
| Porcentagem total do indicador | | | 91,1% |

Apesar da nota final do Indicador 1 ter ficado na faixa de qualidade considerada Excelente, os subindicadores: detergentes, DBO e sólidos suspensos se enquadraram na faixa de qualidade boa.

Como a elevada carga orgânica é um fator preocupante dessa tipologia industrial, o fato da DBO ter atendido a legislação em apenas 83,6% das vezes merece atenção especial. Já em termos de DQO, a porcentagem de atendimento a legislação foi relativamente superior, atingindo o patamar de 95,5%. As eficiências de remoção desses parâmetros no sistema de tratamento da Empresa B são mostradas na Figura 35.

Figura 35 - Eficiência de remoção de DBO e DQO no período de junho de 2008 a dezembro de 2014 para a Empresa B



Apesar dos valores de eficiência de remoção de DBO e DQO terem variado ao longo do tempo com certa semelhança, a diferença nas notas desses subindicadores pode ser explicada por dois motivos: o atendimento à DN COPAM 01/2008 para DBO e DQO considera não apenas a eficiência, mas também o valor de concentração máxima desses parâmetros no efluente; além disso, a eficiência de remoção mínima para DBO é superior, sendo ela 75%, enquanto para DQO é 70%.

O subindicador com pior nota para a Empresa B foi os sólidos suspensos. A última etapa de tratamento dessa empresa, no período analisado, era uma Lagoa Aerada Facultativa e, portanto, já era esperado valores mais elevados de sólidos na saída do efluente. Inclusive, a DN COPAM 01/2008 apresenta um limite mais tolerante para os sólidos suspensos quando se trata de sistemas compostos por Lagoas de Estabilização. Diante dessa maior tolerância fornecida, o não atendimento a legislação para esse parâmetro não se justifica, devendo ser tomadas medidas que reduzam o teor de sólidos suspensos nos efluentes tratados da empresa, por exemplo, através da remoção de algas que estejam em excesso, visto que elas contribuem significativamente para o alto teor de sólidos em sistemas de lagoas (MACHADO, 2002).

Assim, é possível notar que no Indicador 1, que mede a qualidade do efluente, a nota da Empresa A (96,3%) foi superior a nota da Empresa B (91,1%),.. Esse resultado comprovou o que foi verificado na literatura sobre a alta eficiência do sistema de lodos ativados, principalmente no que diz respeito à remoção de matéria orgânica, pois como explicitado por von Sperling (2014) e FEAM (2015), esse sistema é amplamente utilizado em virtude, principalmente, de sua elevada eficiência. Por outro lado, é um tipo tratamento que exige substancial investimento de capital, com altos custos de implantação, operação e manutenção.

6.3.2 Resultado do Indicador 2 (CP) - Cumprimento do programa de automonitoramento de efluentes líquidos industriais

Na análise do Indicador 2, foi verificado que a Empresa A teve uma porcentagem de atendimento à legislação igual a 85,4%, valor que enquadra como Bom o cumprimento do programa de automonitoramento da empresa para os

efluentes líquidos. A Tabela 19 expõe essa informação e também os valores obtidos para cada subindicador do Indicador 2.

Tabela 19 - Resultado do Indicador 2 (CP) para a Empresa A

| SUBINDICADORES | PORCENTAGEM TOTAL DE ATENDIMENTO | PESO RELATIVO | NOTA |
|--|----------------------------------|---------------|-------|
| Proporção de parâmetros monitorados | 99,6% | 41% | 40,9% |
| Cumprimento da frequência de monitoramento | 93,2% | 33% | 30,8% |
| Cumprimento da frequência de envio | 53,0% | 26% | 13,8% |
| Porcentagem total do indicador | | | 85,4% |

É possível perceber que a Empresa A cumpriu de forma Excelente o monitoramento dos parâmetros definidos em seu programa de automonitoramento (Proporção de parâmetros monitorados). Para cada parâmetro solicitado pelo órgão, foi verificada a proporção entre a quantidade de relatórios nos quais esses parâmetros foram analisados em relação ao número total de relatórios. A Tabela 20 apresenta o resultado dessas análises.

Tabela 20 - Proporção dos parâmetros monitorados em relação ao total de relatórios da Empresa A

| PARÂMETROS | PONTO DE MONITORAMENTO | PROPORÇÃO DO MONITORAMENTO |
|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| DBO | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| DQO | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Óleos e graxas | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Detergentes | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Sólidos suspensos | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Sólidos sedimentáveis | Efluente Bruto | 99,1% |
| | Efluente Tratado | 99,1% |
| pH | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Temperatura | Efluente Bruto | 99,1% |
| | Efluente Tratado | 98,2% |
| Vazão média | Efluente Bruto | 99,1% |
| | Efluente Tratado | 99,1% |
| Nitrogênio amoniacal | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Fósforo | Efluente Bruto | 98,2% |
| | Efluente Tratado | 98,2% |
| Cloretos | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Turbidez | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |

A respeito do cumprimento da frequência de análise, observou-se que a Empresa A realizou seus relatórios de automonitoramento na frequência determinada em mais de 90% das vezes, indicando um Excelente cumprimento desse subindicador.

Já o subindicador de frequência de envio foi o que apresentou a menor porcentagem de atendimento. Apenas em 53% das vezes a empresa enviou seus relatórios para o órgão dentro da data estipulada. O principal motivo do não cumprimento do prazo foi a inobservância do dia máximo para entrega, visto que no programa de automonitoramento foi definido que os relatórios deveriam ser entregues até o dia 10 do mês da entrega e, repetidas vezes, o relatório foi entregue no mês correto, porém com alguns dias de atraso.

No caso da Empresa B, a nota para o Indicador 2 precisou ser ajustada, visto que no programa de automonitoramento da empresa (Tabela 16) não foi definida uma data para envio dos relatórios de automonitoramento, não sendo possível então avaliar o cumprimento da frequência de envio. Para o ajuste da nota, o peso do Indicador 2 foi redistribuído para os dois indicadores passíveis de serem avaliados (Proporção de parâmetros monitorados e o Cumprimento da frequência de monitoramento), mantendo a proporção de cada um deles.

Diante disso, a nota ajustada desse Indicador para a Empresa B foi 92,6%, estando na faixa de qualidade considerada Excelente, como mostrado na Tabela 21.

Tabela 21 - Resultado do Indicador 2 (CP) para a Empresa B

| SUBINDICADORES | PORCENTAGEM TOTAL DE ATENDIMENTO | PESO RELATIVO | NOTA | PESO AJUSTADO | NOTA AJUSTADA |
|--|--|------------------|-------|------------------|------------------|
| Proporção de parâmetros monitorados | 98,9% | 41,0% | 40,6% | 55,4% | 54,8% |
| Cumprimento da frequência de monitoramento | 84,8% | 33,0% | 28,0% | 44,6% | 37,8% |
| Cumprimento da frequência de envio | - | 26,0% | - | - | - |
| Porcentagem total do indicador | | | 68,6% | | |
| Porcentagem total ajustada do indicador | | | | | 92,6% |

A respeito do subindicador “Proporção de parâmetros monitorados” observou-se que a Empresa B teve, de forma geral, uma porcentagem de atendimento considerada Excelente. A Tabela 22 mostra qual foi essa porcentagem para cada parâmetro solicitado no programa de automonitoramento da empresa.

Tabela 22 - Proporção dos parâmetros monitorados em relação ao total de relatórios da Empresa B

| PARÂMETROS | PONTO DE MONITORAMENTO | PROPORÇÃO DO MONITORAMENTO |
|------------------------------|------------------------|----------------------------|
| DBO | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| DQO | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Óleos e graxas | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Detergentes | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Sólidos suspensos | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Sólidos sedimentáveis | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| pH | Efluente Bruto | 100,0% |
| | Efluente Tratado | 100,0% |
| Temperatura | Efluente Bruto | 97,0% |
| | Efluente Tratado | 95,5% |
| Vazão média | Efluente Bruto | 94,0% |
| | Efluente Tratado | 94,0% |

Como visto, os únicos parâmetros determinados no programa de automonitoramento da Empresa B que deixaram de ser analisados em alguns relatórios foram temperatura e vazão média, mas, ainda assim, a proporção de monitoramento desses dois parâmetros foi superior a 90%.

Sobre o “Cumprimento da frequência de monitoramento” constatou-se que a Empresa B deixou de realizar alguns relatórios de automonitoramento dentro da frequência determinada em suas condicionantes de licença, obtendo assim, uma porcentagem total de atendimento equivalente a 84,8%, estando na faixa de

qualidade considerada Boa. Entretanto, ressalta-se a importância de elaborar periodicamente os relatórios de automonitoramento da ETE pelo menos na frequência definida pelo órgão, pois eles são uma ferramenta fundamental no acompanhamento da eficiência do sistema e na identificação de falhas no processo de tratamento.

Como dito anteriormente, o subindicador “Cumprimento da frequência de envio” não foi avaliado para a Empresa B, em virtude de não ter sido definida a frequência de envio dos relatórios no programa de automonitoramento da Empresa B. Diante da subjetividade da situação, optou-se por não considerar esse subindicador. Entretanto, no artigo 3º da DN COPAM 165/2011 fica claro que os relatórios de automonitoramento devem ser enviados ao órgão ambiental competente:

§ 1º - Os relatórios do Programa de Automonitoramento vinculado a condicionantes de licenças ambientais deverão ser enviados, na frequência estabelecida, à Superintendência Regional de Regularização Ambiental onde se localiza a fonte efetiva ou potencialmente poluidora, para que sejam anexados aos respectivos processos de regularização ambiental, para fins de consulta ou fiscalização (MINAS GERAIS, 2011).

Diante disso, sugere-se que nesses casos, o empreendedor solicite a SUPRAM que se manifeste a esse respeito, definindo uma frequência para o envio, de forma a evitar a ocorrência de interpretações distintas entre o empreendedor e o órgão ambiental.

Percebe-se então que a Empresa B obteve maior nota que a Empresa A no Indicador 2. Entretanto, ressalta que nesse Indicador, a porcentagem de atendimento da Empresa A foram superiores a porcentagem de atendimento da Empresa B nos subindicadores “Proporção de parâmetros monitorados” e “Cumprimento da frequência de monitoramento”. Portanto, o que levou a Empresa A a uma nota geral inferior a nota da Empresa B no Indicador 2 foi o “Cumprimento da frequência de envio”, no qual a Empresa A obteve uma porcentagem de atendimento significativamente menor que nos demais subindicadores. Como esse subindicador não pode ser avaliado para a Empresa B e a sua nota teve que ser reajustada, ela acabou ficando com uma nota geral superior no Indicador em questão.

Destaque-se assim, a importância do órgão ambiental licenciador, no caso a

SUPRAM, não deixar de definir a frequência de envio nas condicionantes de licença para que seja feita uma boa aplicação do IAQML, visto que esse Índice foi desenvolvido pela FEAM com o objetivo de ser um instrumento do órgão ambiental no acompanhamento do automonitoramento.

6.3.3 Resultado do Indicador 3 (AL) - Adequação dos laboratórios

Para o Indicador 3, a porcentagem de atendimento obtida pela Empresa A foi igual a 61,9%, sendo considerada na faixa de qualidade como Média. Foram julgados como incorretos os casos em que: o parâmetro teve sua análise efetuada pela própria empresa, ou quando o laboratório que realizou a análise não era acreditado para analisar tal parâmetro. Assim, a Tabela 23 retrata os resultados encontrados para esse Indicador, considerando os parâmetros definidos nos programas de automonitoramento vigentes no período de análise.

Tabela 23 - Resultado do Indicador 3 (AL) para a Empresa A

| PARÂMETROS | PORCENTAGEM TOTAL DE ATENDIMENTO |
|---------------------------------------|---|
| Óleos e Graxas | 95,9% |
| DBO | 95,9% |
| DQO | 95,9% |
| Sólidos em suspensão | 95,9% |
| Fósforo | 90,4% |
| Cloretos | 90,4% |
| Turbidez | 90,4% |
| Sólidos sedimentáveis | 45,8% |
| Detergentes | 43,0% |
| Nitrogênio amoniacal | 42,3% |
| pH | 19,1% |
| Vazão média | 0,0% |
| Temperatura | 0,0% |
| Porcentagem total do indicador | 61,9% |

Entre os parâmetros analisados, nenhum obteve 100% de atendimento. Óleos e graxas, DBO, DQO, sólidos em suspensão, fósforo e cloretos atenderam os critérios em mais de 90% das vezes, tendo assim um bom resultado nesse indicador. Já os sólidos sedimentáveis, detergentes e nitrogênio amoniacal tiveram um desempenho inferior, ficando abaixo de 50% de atendimento. Os parâmetros com piores resultados foram pH, temperatura e vazão média, isso porque suas análises foram realizadas, na maioria das vezes, pela própria empresa e não por laboratório acreditado.

Foi verificado que o laboratório que realiza as análises para a Empresa A está atualmente homologado junto a Rede Metrológica de Minas Gerais (RMMG) para todos os parâmetros definidos no programa de automonitoramento. Assim, para melhoria das notas nesse indicador é necessário apenas que a Empresa A não mais realize análises por conta própria, mesmo nos casos dos parâmetros que precisam

ser analisados *in loco*.

Para a Empresa B, o resultado obtido no Indicador 2 ficou na faixa de qualidade considerada Média, sendo sua porcentagem total de atendimento igual a 73,6%. A Tabela 24 mostra as porcentagens totais de atendimento às determinações desse indicador para cada parâmetro que foi definido no programa de automonitoramento da empresa e que constava nos seus relatórios.

Tabela 24 - Resultado do Indicador 3 (AL) para a Empresa B

| PARÂMETROS | PORCENTAGEM TOTAL DE ATENDIMENTO |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Sólidos sedimentáveis | 100,0% |
| pH | 100,0% |
| Óleos e Graxas | 92,5% |
| DBO | 92,5% |
| DQO | 92,5% |
| Sólidos em suspensão | 92,5% |
| Detergentes | 92,5% |
| Vazão média | 0,0% |
| Temperatura | 0,0% |
| Porcentagem total do indicador | 73,6% |

De forma semelhante ao acontecido com a Empresa A, os parâmetros vazão média e temperatura também apresentaram porcentagem de atendimento igual a 0,0% para esse indicador. Mais uma vez, o motivo principal da falta de atendimento foi a realização das análises desses parâmetros pela própria empresa. Como o laboratório que atualmente realiza as análises para a Empresa B está devidamente homologado junto a RMMG para todos os parâmetros que foram solicitados em seu programa de automonitoramento, para atender de forma plena a esse indicador, a empresa precisa apenas solicitar que todas as análises sejam feitas pelo laboratório.

Diante desses resultados, verificou-se que ambas as empresas apresentaram notas na faixa de qualidade Média para o Indicador 3, o que não é o ideal. Ainda assim, a Empresa B teve uma pontuação superior a Empresa A nesse Indicador.

Isso porque apesar das duas empresas terem apresentado porcentagem de atendimento de 0,0% para os parâmetros vazão Média e temperatura, a Empresa A ainda teve uma porcentagem de atendimento Muito Ruim para o parâmetro pH, e Ruim para os parâmetros sólidos sedimentáveis, detergentes e nitrogênio amoniacal contribuindo ainda mais para a redução de sua nota.

6.3.4 Resultado do Indicador 4 (DS) - Destino do soro

Em virtude de não ser gerado soro nas atividades produtivas da Empresa A, esse indicador não foi avaliado e, portanto, não será considerado na nota final do IAQML. Dessa forma, a nota do IAQML para essa empresa terá que ser reajustada, considerando os critérios definidos no item 5.5.2

No caso da Empresa B, durante todo o período analisado, o soro gerado na produção do requeijão e o leiteiro gerado na fabricação da manteiga foram reinseridos no processo produtivo, sendo utilizados na fabricação de bebidas lácteas. Como esse destino é considerado correto do ponto de vista ambiental, a porcentagem de atendimento da Empresa B a esse indicador foi 100,0%, ficando na faixa de qualidade considerada Excelente.

Esse destino dado ao soro pela Empresa B, além de ambientalmente correto, traz benefícios do ponto de vista econômico, pois agrega valor a um subproduto, na medida que o reincorpora ao processo produtivo.

No caso desse Indicador, notoriamente, não será possível comparar as notas das duas empresas.

6.3.5 Resultado final do IAQML

Para a Empresa A, foi possível calcular a nota final do IAQML após se obter a porcentagem total de atendimento para os Indicadores de 1 a 3, visto que o Indicador 4 não pode ser avaliado (Tabela 25). A nota do índice para essa empresa foi 85,1%, indicando que a empresa se encontra numa faixa de qualidade Boa.

Tabela 25 - Resultado do final do IAQML para a Empresa A

| INDICADORES | PORCENTAGEM TOTAL DO INDICADOR | PESO RELATIVO | NOTA DO INDICADOR | PESO AJUSTAD O | NOTA AJUSTAD A |
|---------------------|--------------------------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Indicador 1 (QE): | 96,3% | 40% | 38,5% | 50% | 48,2% |
| Indicador 2 (CP): | 85,4% | 20% | 17,1% | 25% | 21,4% |
| Indicador 3 (AL): | 61,9% | 20% | 12,4% | 25% | 15,5 % |
| Indicador 4 (DS): | - | 20% | - | - | - |
| Nota final | | | 68,0% | | |
| Nota final ajustada | | | | | 85,1% |

Como mostrado na Tabela 25, para obter a nota final da Empresa A foi necessário ajustá-la, dessa forma, o peso do Indicador 4 foi redistribuído para os demais indicadores passíveis de serem avaliados (Indicador 1, 2 e 3), mantendo a proporção de cada um deles.

A melhor porcentagem de atendimento da Empresa foi no Indicador 1 (96,3%), seguida do Indicador 2 (85,4%) e por último o Indicador 3 (61,9%). Apesar da nota ser considerada Boa, é importante destacar que todos os critérios dos indicadores são referentes a obrigações legais da empresa, sendo assim, a empresa deveria ter obtido nota igual a 100%. Esse resultado indica que a Empresa A descumpriu suas obrigações legais algumas vezes, ainda se fazendo necessário aprimorar a qualidade do automonitoramento da empresa.

Mediante a nota obtida nos Indicadores 1 a 4, calculou-se a nota final do IAQML para a Empresa B. Como mostrado na Tabela 26, a nota final foi 89,6%, indicando que a empresa se encontra na faixa de qualidade Excelente.

Tabela 26 - Resultado do final do IAQML para a Empresa B

| INDICADORES | PORCENTAGEM TOTAL DO INDICADOR | PESO RELATIVO | NOTA DO INDICADOR |
|-------------------|--------------------------------|---------------|-------------------|
| Indicador 1 (QE): | 91,1% | 40% | 36,4% |
| Indicador 2 (CP): | 92,6% | 20% | 18,5% |
| Indicador 3 (AL): | 73,6% | 20% | 14,7% |
| Indicador 4 (DS): | 100,0% | 20% | 20,0% |
| Nota final | | | 89,6% |

Como já dito, a Empresa B obteve atendimento de 100% no Indicador 4, o que contribuiu para a elevação de sua nota. A empresa também obteve alta porcentagem de atendimento no Indicador 2 (92,6%) e no Indicador 1 (91,1%). Apenas no Indicador 3, não atingiu a faixa de qualidade Excelente. Diante desses resultados, é possível afirmar o mesmo que foi dito para a Empresa A: apesar da nota da Empresa B ser considerada Excelente, o correto é o atendimento das obrigações legais em 100% das vezes, devendo ser observado os pontos onde houve falhas para que elas sejam corrigidas.

Em resumo, a Empresa A obteve uma nota geral no IAQML inferior a Empresa B. Apesar da diferença entre as suas notas ter sido de apenas 4,5% (89,6% - 85,1%), elas foram enquadradas em diferentes faixas de qualidade, a Empresa B na faixa de qualidade considerada Excelente e a Empresa A na faixa Boa.

Como visto, as notas da Empresa B foram superiores no Indicador 2 (CP) e 3 (AL). Enquanto a Empresa A obteve maior nota no Indicador 1 (QE). Para o Indicador 4 (DS) não foi possível compará-las.

6.4 Análise da qualidade de água no corpo receptor dos efluentes

Sobre a Empresa A, os valores usados como referência para análise da qualidade das águas foram aqueles estabelecidos na DN COPAM 01/2008 para águas doces, Classe 2, em ambientes lóticos, categoria na qual se enquadra o corpo receptor dos efluentes dessa empresa. Essa deliberação foi adotada pois apresenta

os mesmos padrões que a legislação federal CONAMA 357/2005 para os parâmetros analisados nesse trabalho, com exceção do parâmetro sólidos em suspensão, que apresenta padrão definido apenas na DN 01/2008.

A partir da Figura 36 até a Figura 41, são mostrados os valores de alguns dos parâmetros analisados no corpo receptor, a montante e a jusante do lançamento da Empresa A.

Figura 36 - Valores encontrados para DBO nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A

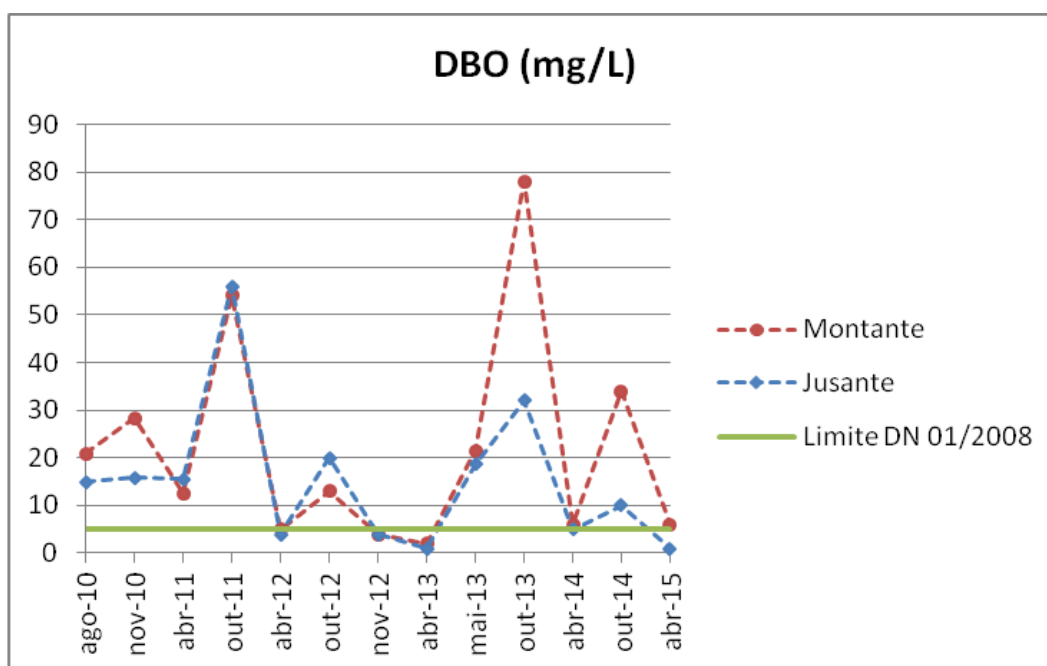


Figura 37 - Valores encontrados para sólidos suspensos nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A

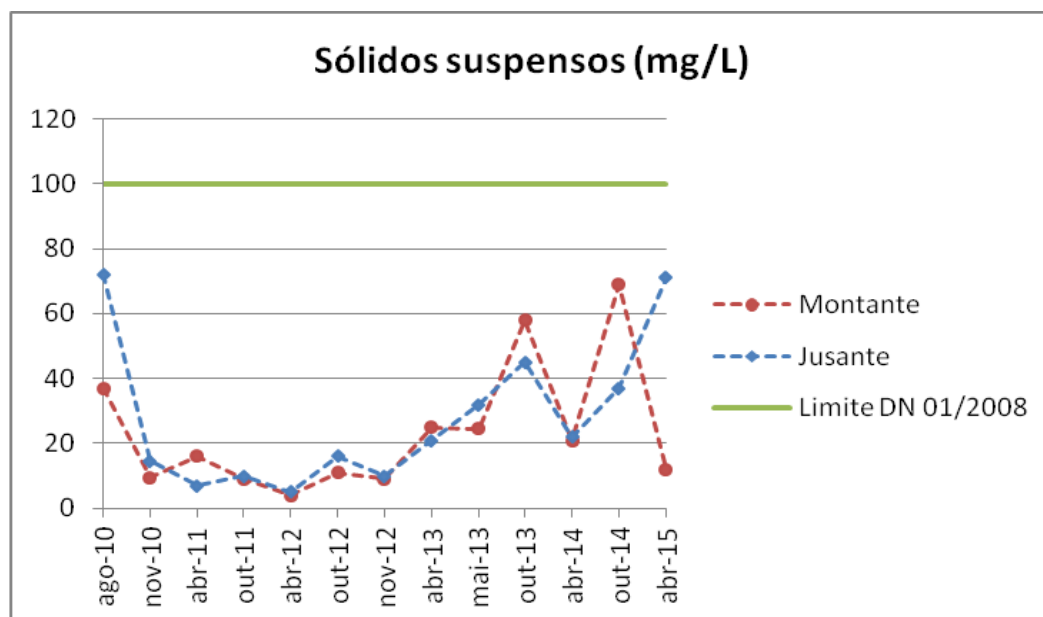


Figura 38 - Valores encontrados para nitrogênio amoniacal nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A

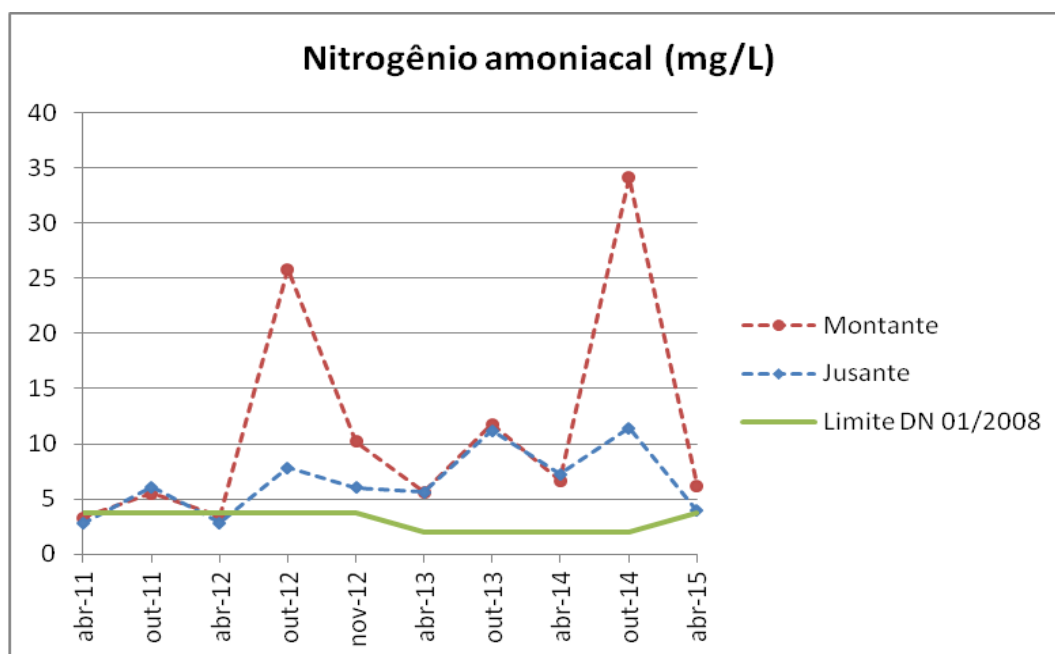


Figura 39 - Valores encontrados para cloretos nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A

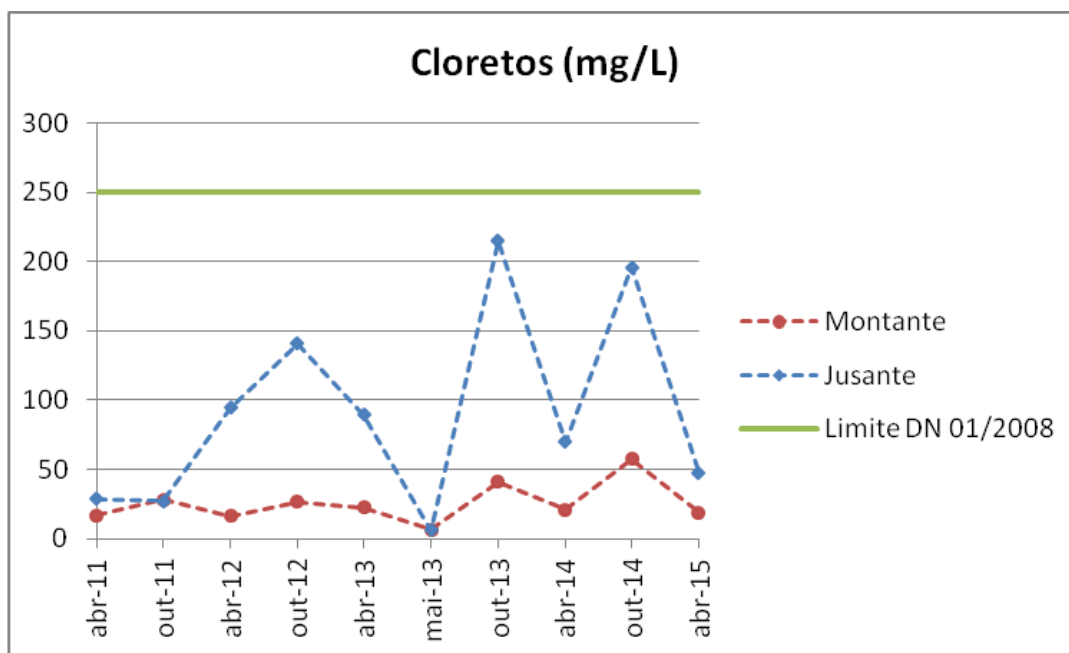


Figura 40 - Valores encontrados para fósforo nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A

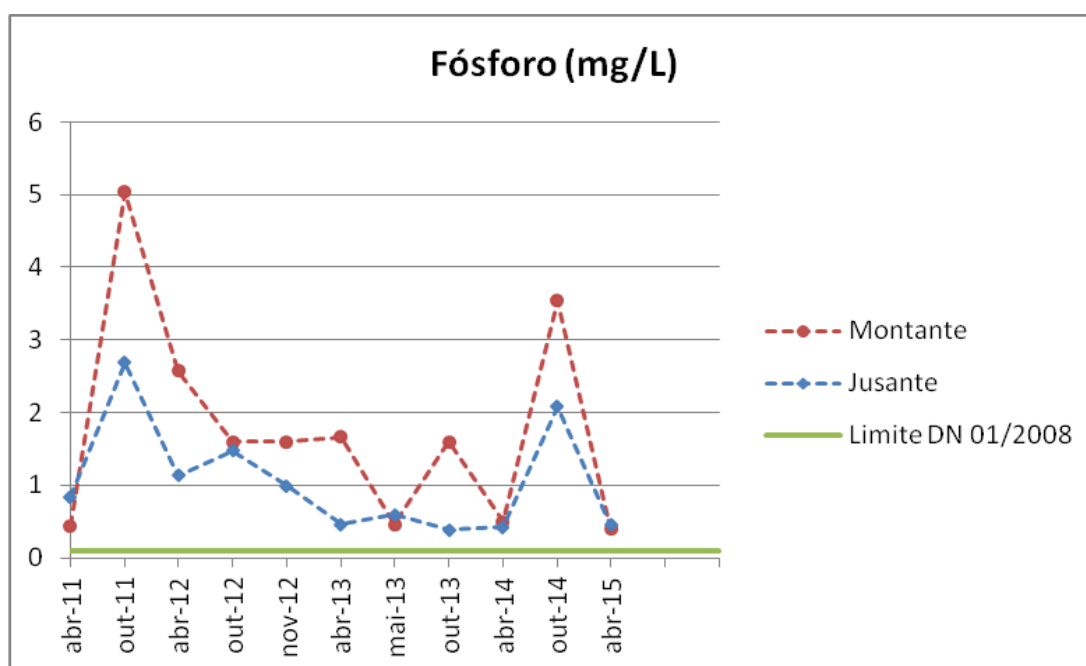
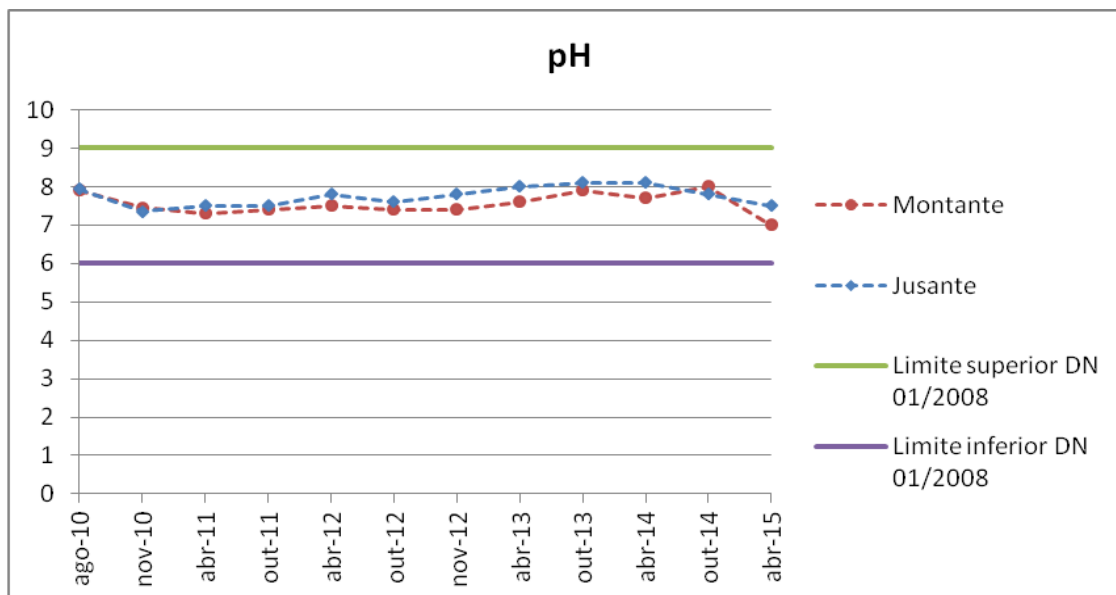


Figura 41 - Valores encontrados para pH nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A



Ao observar esses gráficos, é possível perceber que, ao longo da série histórica, não foi seguido um padrão, por exemplo, com os valores a montante do lançamento sempre inferiores aos valores a jusante, ou vice e versa. As medições a montante e a jusante, por várias vezes, apresentaram valores muito próximos, mas nos casos em que houve um maior distanciamento entre esses valores, o de montante sempre se apresentou superior ao de jusante. Isso pode ser explicado pelo fato desse curso d'água já ter recebido um grande aporte de efluentes em diversos pontos anteriores ao lançamento da Empresa A, como explicitado no Item 6.1.4. A exceção foi apenas os cloretos, que apresentaram maiores valores a jusante.

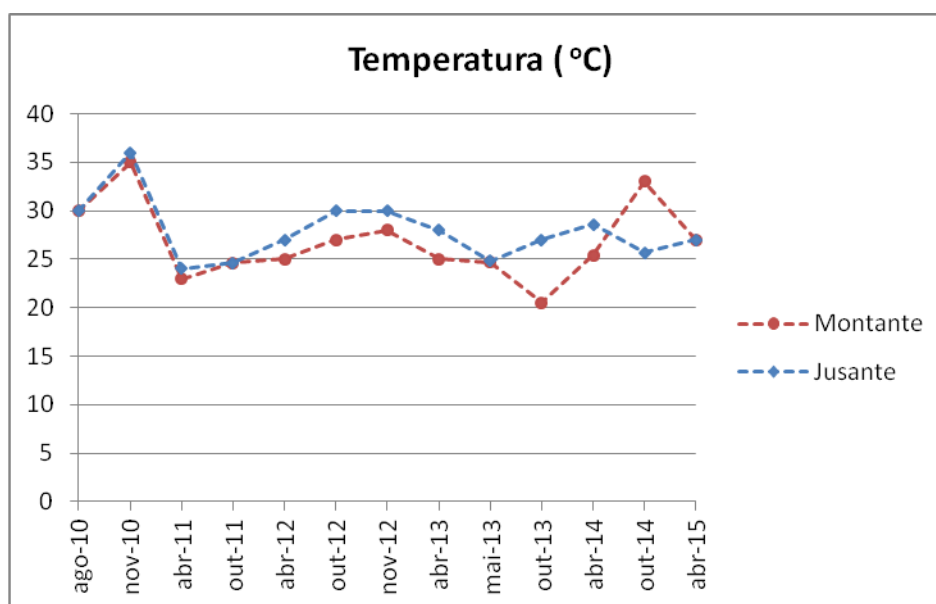
A partir das análises estatísticas descritas no item 5.6.2: teste de igualdade de variância pelo método de comparações múltiplas; teste paramétrico t - quando houve homogeneidade de variância - ou, para os casos em que as variâncias não apresentaram-se homogêneas, o teste não paramétrico de Mann-Whitney, foi possível verificar se essas diferenças encontradas entre os valores a montante e a jusante foram significativas. O resultado obtido (APÊNDICE C) mostrou que para DBO, sólidos suspensos, nitrogênio amoniacal, fósforo e pH, as diferenças não foram significativas. Já para cloretos, observou-se diferença significativa entre os valores a montante e a jusante, comprovando assim, que o efluente da empresa tem aumentado consideravelmente o nível desse parâmetro no corpo d'água.

Ao verificar os limites legais para esses parâmetros, é notável o alto nível de degradação que se encontra esse corpo d'água. Apenas os parâmetros sólidos suspensos, cloretos e pH atenderam o limite legal em boa parte das análises, tanto a montante quanto a jusante. Os demais - DBO, nitrogênio amoniacal e fósforo - se mantiveram majoritariamente acima do permitido, antes e depois do lançamento dos efluentes da Empresa A.

Entretanto, percebe-se então que, apesar do efluente da Empresa A estar provocando um aumento significativo de cloretos, o limite máximo permitido não foi desrespeitado no período analisado.

A temperatura também foi um parâmetro monitorado, mas que não possui um limite legal de referência nas legislações cabíveis (DN COPAM 01/2008 e CONAMA 357/2011). Assim, a respeito desse parâmetro, é possível apenas comparar as diferenças da temperatura a montante e a jusante do lançamento, como mostra a Figura 42.

Figura 42 - Valores encontrados para temperatura nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa A



Observa-se pouca variação da temperatura entre os valores de montante e jusante, inclusive em alguns pontos esses valores são até iguais. O teste estatístico de significância também indicou que, para esse parâmetro, não houve mudança significativa entre esses valores. .

Os demais parâmetros analisados nos relatórios da Empresa A de monitoramento das águas superficiais foram óleos e graxas, sólidos sedimentáveis e detergentes, que se mantiveram abaixo do limite de detecção em grande parte das análises.

No caso da Empresa B, o corpo d'água que recebe seus efluentes é também enquadrado como águas doces, Classe 2 e ambiente lótico. Assim, para as análises, usou-se novamente como referência os valores estabelecidos na DN COPAM 01/2008 para essa categoria na qual se enquadra o corpo receptor dos efluentes. A partir da Figura 43 até a Figura 46 são mostrados os valores encontrados nos relatórios de monitoramento de águas superficiais da empresa para os parâmetros que possuíam limites determinados nessa legislação.

Figura 43 - Valores encontrados para DBO nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B

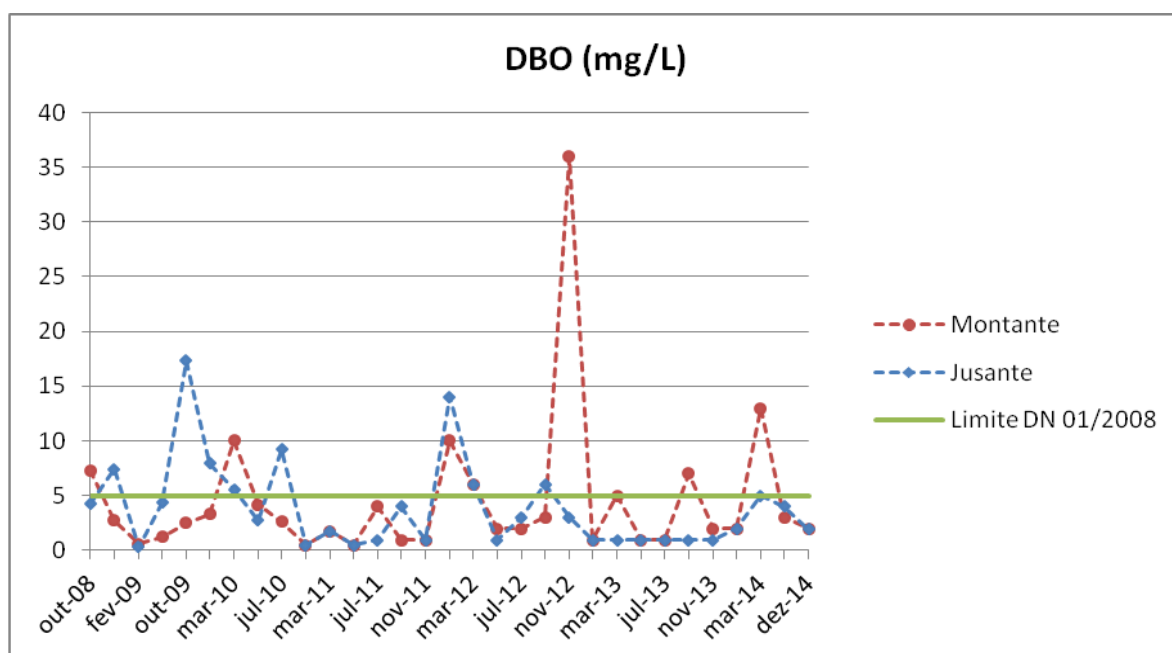


Figura 44 - Valores encontrados para turbidez nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B

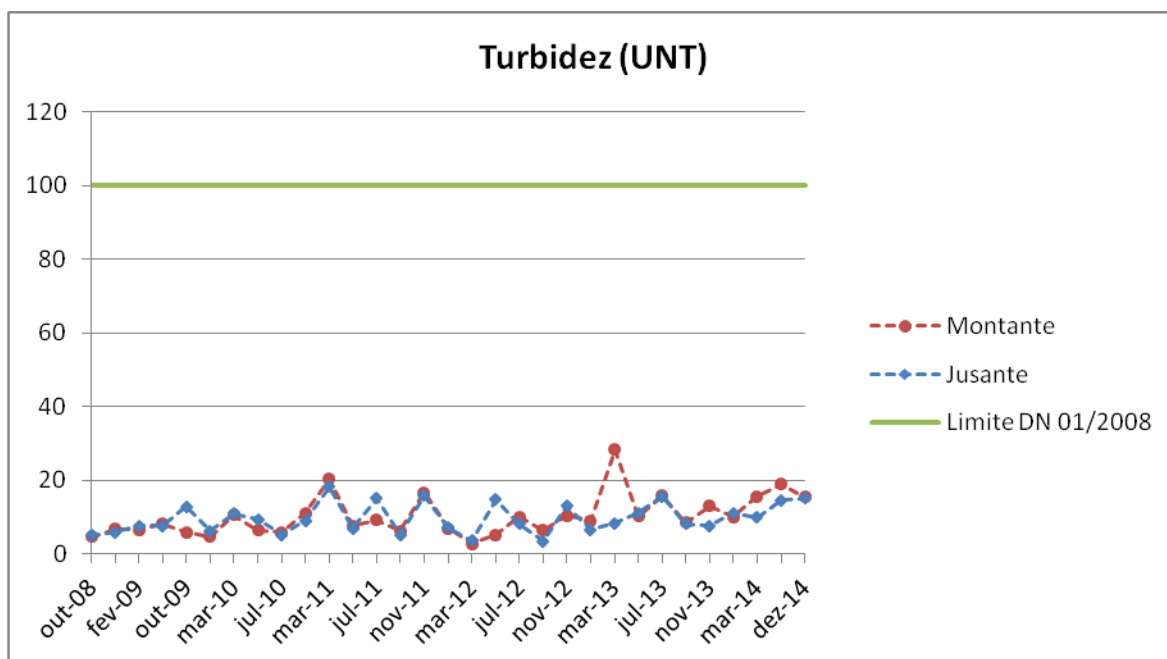


Figura 45 - Valores encontrados para pH nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B

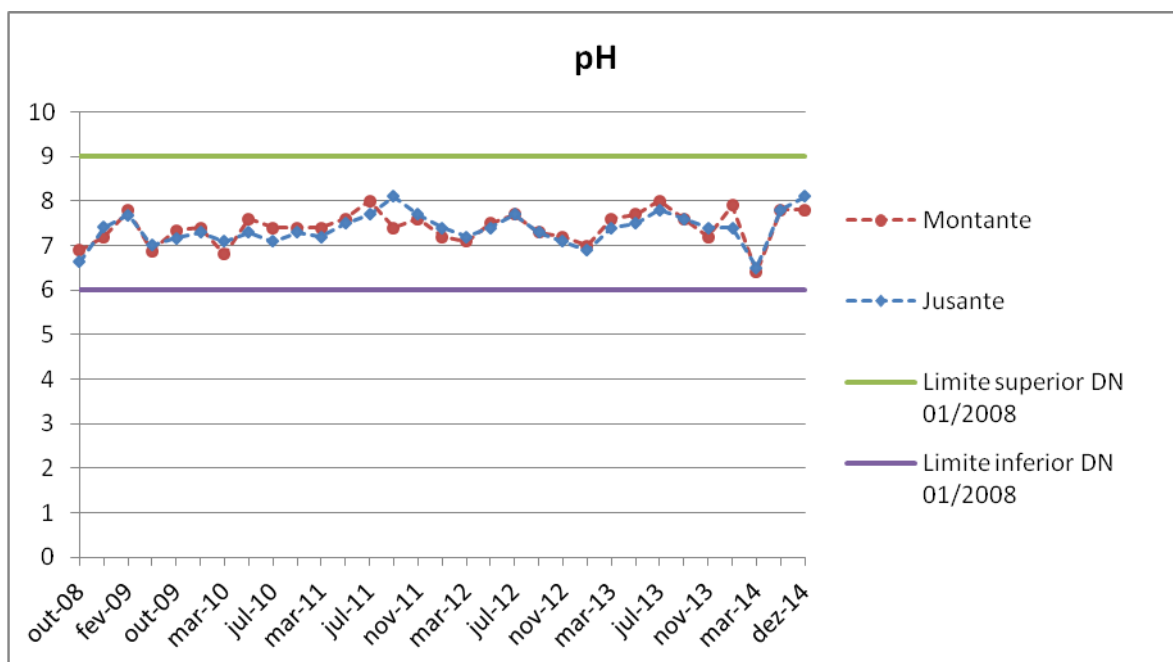
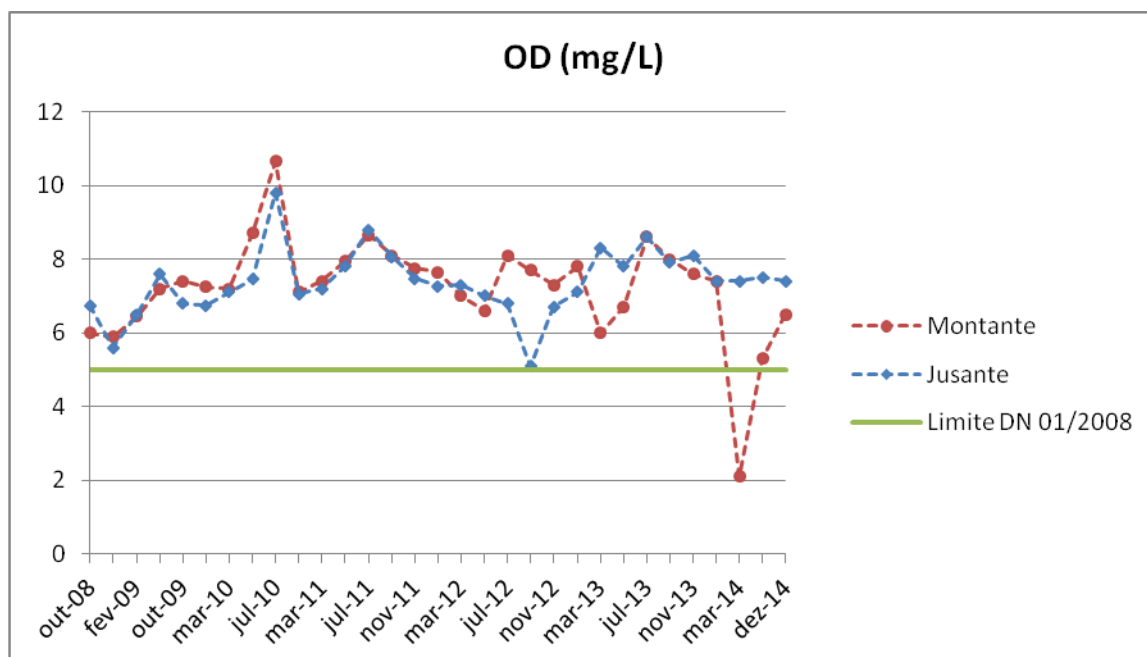


Figura 46 - Valores encontrados para oxigênio dissolvido (OD) nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B



Ressalta-se que para os parâmetros DBO, turbidez e pH, a legislação determina limites máximos de concentração. Já para o parâmetro OD é estabelecido um limite mínimo, visto que quanto maior a concentração de oxigênio disponível no corpo d'água, melhor é sua qualidade.

A partir dos gráficos mostrados, verifica-se que a variação entre os valores a montante e a jusante para os parâmetros pH e turbidez foi bem pequena, durante grande parte da série histórica analisada.

Já a DBO e o OD não apresentaram um padrão tão bem definido. Em algumas análises a variação foi pouca entre os valores a montante e a jusante, mas em outras ocorreram alguns picos, em que esse distanciamento foi maior. Nesses picos também não foi percebido um padrão, pois houve casos em que o valor de montante foi bem superior, e em outros foi o de jusante.

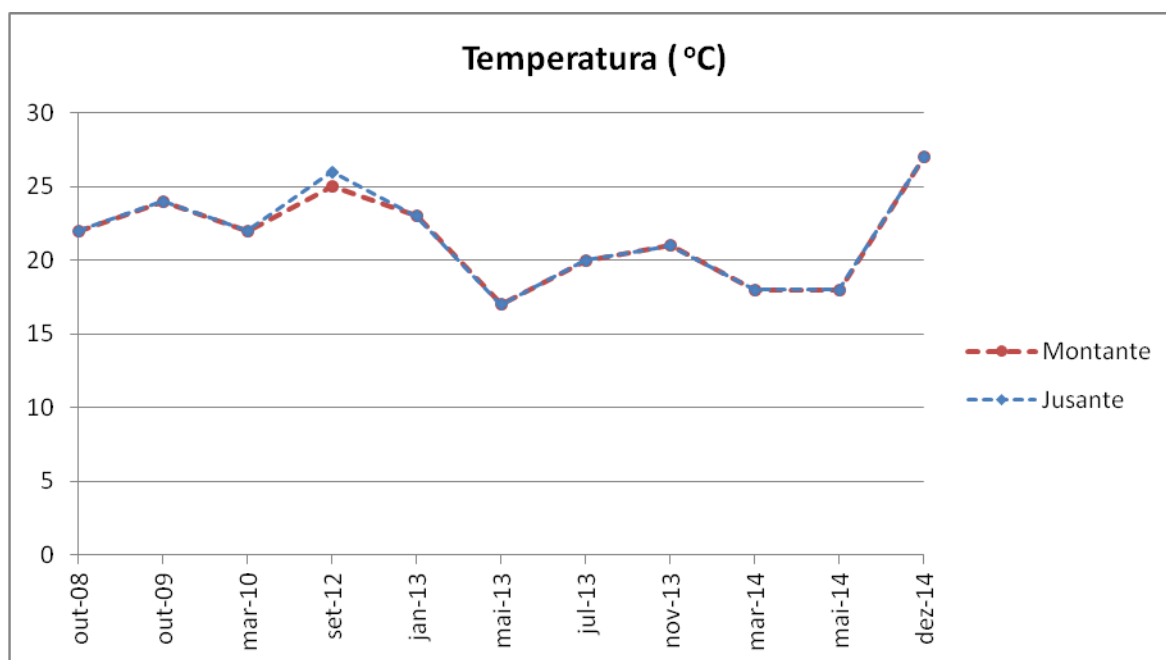
Foram realizados para a Empresa B, os mesmos testes estatísticos que para a Empresa A – teste de igualdade de variâncias, teste paramétrico t e teste de Mann-Whitney - os resultados das análises estatísticas da Empresa B se encontram no APÊNDICE D. Essas análises indicaram que não houve diferença significativa entre os valores a montante e a jusante do lançamento para todos esses parâmetros observados – DBO, turbidez, pH e OD - , mesmo para DBO e OD, que como dito,

apresentaram graficamente alguns picos de distanciamento.

Sobre o atendimento a legislação, observa-se que, de forma geral, os parâmetros pH, turbidez e OD, tanto a montante quanto a jusante do lançamento, respeitaram os limites definidos. Apenas a DBO esteve mais vezes em desacordo com os limites de referência, sendo que em alguns momentos foram os valores de DBO a montante que estiveram superiores ao permitido, e em outros foram os valores a jusante. Destaque-se que o efluente da Empresa B apenas influencia nos valores encontrados a jusante do seu lançamento. Ainda assim, na maioria das análises o valor de DBO atendeu as determinações legais.

A temperatura também foi monitorada, mesmo não havendo limites de referência definidos para esse parâmetro em leis vigentes no âmbito de Minas Gerais. A Figura 47 mostra os valores de temperatura obtidos nas análises.

Figura 47 - Valores encontrados para temperatura nas análises de águas superficiais do corpo receptor dos efluentes da Empresa B



Nota-se que, praticamente, não houve variações na temperatura do corpo d'água em virtude do lançamento dos efluentes da Empresa B. Essa pouca variação também foi evidenciada através do teste de significância, que não apontou diferença significativa entre os valores de montante e jusante para esse parâmetro.

Diante de tudo isso, verifica-se que o corpo receptor dos efluentes da

Empresa B não se encontra em elevado estado de degradação, tanto antes, quanto depois do lançamento dos efluentes. Situação diferente da que foi verificada para a Empresa A. Ressalta-se, porém, que a Empresa B lançou seus efluentes nesse corpo d'água apenas até janeiro de 2015, posteriormente, eles passaram a ser dispostos no solo.

7 CONCLUSÕES

Com a base teórica obtida, verificou-se que os efluentes líquidos de laticínios podem gerar significativos impactos nos corpos d'água, principalmente em virtude de sua elevada carga orgânica.

Diante disso, é importante que se produza informações que possam ser utilizadas na escolha ou aperfeiçoamento de tecnologias para minimizar esses impactos, e que se entenda a importância da realização do automonitoramento de efluentes e de um gerenciamento contínuo das medidas adotadas para que elas funcionem bem, cumprindo o objetivo pelo qual foram implantadas. Também, é fundamental que os órgãos ambientais acompanhem os relatórios de automonitoramento elaborados, e estejam atentos as irregularidades que podem ocorrer, fazendo as exigências necessárias para que os impactos oriundos do lançamento de efluentes líquidos sejam minimizados.

Mediante estudo da ETE da Empresa A, concluiu-se que é um sistema robusto, com elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, sendo capaz de tratar os efluentes de forma Excelente, segundo classificação fornecida pelo índice (Tabela 9). Entretanto, é necessária maior atenção aos níveis de sólidos sedimentáveis nos efluentes dessa empresa, pois esse parâmetro foi o que apresentou menor atendimento aos padrões de lançamento definidos pela DN COPAM 01/2008.

A Empresa A também deve se atentar para o atendimento à frequência de envio dos relatórios de automonitoramento ao órgão ambiental, visto que sua nota nesse subindicador foi significativamente menor que nos demais.

Além disso, verificou-se que o sistema de lodos ativados da ETE da Empresa A foi projetado como aeração prolongada, porém está operando com TDH característico do sistema de Lodos Ativados Convencional. Isso pode ser a causa da geração de odores no sistema, que tem sido alvo de recorrentes reclamações de moradores da região.

No caso da Empresa B, a qualidade dos seus efluentes tratados também foi

considerada Excelente, mas sua porcentagem de atendimento à legislação foi, de forma geral, inferior à obtida pela Empresa A. Esse resultado já era esperado, pois a literatura destaca de forma recorrente a superior robustez dos sistemas de lodos ativados em relação aos demais.

Ainda sobre a Empresa B, ressalta-se que os sólidos suspensos foi o parâmetro que menos atendeu os padrões de lançamento, devendo assim ser tomadas medidas que controlem o elevado teor de sólidos, como, por exemplo, o controle de algas na Lagoa Aerada Facultativa, pois, quando em excesso, as algas podem vir a sair com o efluente, contribuindo para o aumento do valor de sólidos suspensos.

Conclui-se também que o Indicador com menor porcentagem de atendimento, tanto para a Empresa A, quanto para a Empresa B, foi o Indicador 3 (AL) - Adequação dos laboratórios. O principal motivo disso foram as medições de pH, temperatura e vazão, que são parâmetros que devem ser medidos *in loco*, mas ainda assim não podem ser medidos pelo próprio laticínio, visto que a DN COPAM 167/2011 não apresentou exceções sobre quaisquer parâmetros quando estabeleceu que as medições devem ser feitas por laboratórios acreditados/homologados.

Sobre os impactos que os efluentes das empresas em estudo causam nos corpos d'água, verificou-se que a Empresa A lança seus efluentes num corpo d'água com alto grau de degradação, mesmo antes do ponto onde ocorre esse lançamento, devendo serem tomadas medidas de urgência, por parte de todos os atores envolvidos, para garantir a melhoria de sua qualidade ambiental. De forma geral, não foi evidenciada diferença significativa na qualidade da água em virtude dos despejos da empresa, com exceção dos cloretos.

Já a Empresa B lançava seus efluentes num corpo d'água de menor nível de poluição, mas apesar disso, não foram identificados impactos negativos significativos na qualidade das águas pelo lançamento dos efluentes dessa empresa.

Diante de tudo isso, observou-se que o IAQML é um bom indicador para avaliar o automonitoramento de laticínios, pois engloba as principais variáveis

importantes para essa análise: a qualidade do efluente, que permite verificar a eficiência do tratamento e se o mesmo tem sido suficiente para atender os limites legais; o cumprimento do programa de automonitoramento, que informa se a empresa está fazendo o acompanhamento do seu sistema de tratamento da forma correta; a adequação dos laboratórios, que permite saber se as análises contidas nos relatórios de automonitoramento são oriundas de uma fonte imparcial e capacitada para tais ensaios; e o destino do soro, visto que se feito de forma incorreta pode causar um impacto negativo no meio ambiente muito significativo. Entretanto, notou-se que para que esse Índice seja aplicado de forma ideal, é importante que todos os indicadores e subindicadores que o compõem possam ser avaliados, principalmente quando se deseja comparar as notas entre empresas.

Mediante o que foi estudado, ressalta-se que o acompanhamento deve ser contínuo, pois os sistemas de tratamento são influenciados por diversos fatores externos e internos e, portanto, podem sofrer variações nas suas eficiências de tratamento. Dessa forma, é importante que o IAQML seja repetidamente aplicado, pois os parâmetros que ele avalia não são estáticos, e assim uma mesma empresa pode apresentar notas bem diferentes dependendo do período analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE QUEIJO - ABIQ. **Queijos – Classificação**. 2016. Disponível em: <

http://www.abiq.com.br/nutricao_queijosbrasil_classificacao.asp > Acesso em: 29 abr. 2016

ABRAHÃO, R. **Impactos do lançamento de Efluentes na Qualidade da Água do Riacho Mussuré**. 140 p. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - UFPB, João Pessoa, 2006.

ALMEIDA, E. F. L. de. Aspectos sociais da produção de leite no Brasil. In: MADALENA, F. E. **A cadeia do leite no Brasil**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2001. Disponível em: <www.fernandomadalena.com/site_arquivos/909.pdf>. Acesso em: 05 set. 2015.

ALVES, Daniela Rodrigues. Industrialização e comercialização do leite de consumo no Brasil. In: MADALENA, F. E.; MATOS, L. L.; HOLANDA JR., E. V. **Produção de leite e sociedade: uma análise crítica da cadeia do leite no Brasil**. Belo Horizonte, FEP-MVZ Editora, cap. 4, 75-83 p., 2001. Disponível em: <http://www.fernandomadalena.com/site_arquivos/904.pdf> Acesso em: 14 out. 2015.

ANDRADE, L. H. **Tratamento de efluente de indústria de laticínios por duas configurações de biorreator com membranas e nanofiltração visando o reúso**. 214 p. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.. Disponível em: < <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/987M.PDF> > Acesso em: 19 out. 2015.

BENN, F.R.; MCAULIFFE, C. Química e poluição. Livros técnicos e científicos: São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 134p, 1981.

BENTO, A. P. **Tratamento de esgoto doméstico em Lagoas de Estabilização com suportes para o desenvolvimento de perifiton – biofilme**. 197p. Tese de Doutorado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102775/222155.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > Acesso em: 28 out. 2015

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal. Portaria nº 359. Regulamentos Técnicos de Identidade e Qualidade de Leite e Produtos Lácteos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília DF, 1997. Disponível em: <http://www.agais.com/normas/leite/queijo_requeijao.htm> Acesso em: 29 abr. 2016

_____. Ministério de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. 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] República Federativa do**

Brasil, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 14 mar.
 2016

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 62, de 29 de dezembro de 2011. Complementa e altera a Instrução Normativa nº 51, de 18 de setembro de 2002. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 dez. 2011a. Disponível em:
 <<http://www.universidadedoleite.com.br/artigo-instrucao-normativa-62-do-leite>>
 Acesso em: 14 out. 2015.

_____. Ministério de Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 15 mai. 2011b. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>> Acesso em: 30 out.
 2015

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 51, de 18 de setembro de 2002. Aprova os regulamentos técnicos de produção, identidade e qualidade do leite tipo A, do leite tipo B, do leite tipo C, do leite pasteurizado e do leite cru refrigerado e o regulamento técnico da coleta de leite cru refrigerado e seu transporte a granel. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 set. 2002. Disponível em:<
http://www.qualidadedoleite.com.br/hd/arquivos/IN51de2002_leitebnormas.pdf>
 Acesso em: 14 de out. 2015.

BRITZ, T. J. et al. Dealing with environmental issues. In: BRITZ, T. J.; ROBINSON, R. .K. (coord). **Advanced dairy science and technology**. Oxford: **Blackwell Publishing Ltd**, 2008, cap. 7, 263-280 p. Disponível em :< books.google.com.br>
 Acesso em: 21 out. 2015

CAMMAROTA, M. C.; FREIRE, D. M. G. A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 17, 2195-2210 p., 2006.

CAMPOS, J.R.; DIAS, H.G. Potencialidades do Filtro Anaeróbio. **Revista DAE**, vol. 49, n.154, 1989. Disponível em:
 <http://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_154_n_67.pdf> Acesso em: 27
 out. 2015

CAMPOS, J.R. **Alternativas para tratamento de esgotos – Pré tratamento de águas para abastecimento**. Consórcio Intermunicipal das Bacias dos rios Piracicaba e Capivari, Ribeirão Preto.

CARAWAN, R. et al. Water use in a multiproduct dairy. **Journal of Dairy Science**, v. 62, n. 8, 1238-1242 p., 1979. Disponível em:
 <<http://infohouse.p2ric.org/ref/13/12903.pdf>> Acesso em: 19 out. 2015

CARVALHO, G. R. A indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro. **Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica**, Juiz de Fora: n.2,12 p.,2010.

CAMPOS, C. M. M. et al. Avaliação da eficiência do reator UASB tratando efluente de laticínio sob diferentes cargas orgânicas. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, 1376-1384 p., 2004. Disponível em: < www.scielo.br/pdf/cagro/v28n6/a21v28n6.pdf> Acesso em: 27 out. 2015

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Nota Técnica: Tecnologia de controle- Indústrias de laticínios (NT 17)**, São Paulo: CETESB, 1990.

_____. **Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos – Série P+L**. São Paulo: CETESB, 2006. 95p. Disponível em: <www.fiesp.com.br/arquivo-download/?id=4276> Acesso em: 15 out. 2015

DALAVÉQUIA, M.A. **Avaliação de Lagoas de Estabilização para tratamento de dejetos de suínos**. 180p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2001. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/78478>> Acesso em: 29 out. 2015

DEMIREL, B. et al. Anaerobic treatment of dairy wastewaters: a review . **Process Biochemistry**, v. 40, 2005. 14 p. Disponível em <http://www.researchgate.net/profile/Orhan_Yeniguen2/publication/260424149_Anaerobic_treatment_of_dairy_wastewaters_a_review/links/02e7e53130db1d2d17000000.pdf> Acesso em: 15 out. 2015

DÜRR, J.W. Programa nacional de melhoria da qualidade do leite: uma oportunidade única. In: _____. **O compromisso com a qualidade do leite no Brasil**. Passo Fundo, RS: Editora Passo Fundo, 2004. p.38-55.

DÜRR, J.W. **Como produzir leite de alta qualidade**. Brasília: SENAR, 2005. 28p. Disponível em :< http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/CRC/SENAR%20-%20Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20leite%20conforme%20IN%2062.pdf>. Acesso em: 14 out. 2015.

ENGENHO 9 ENGENHARIA AMBIENTAL. **Relatório de Controle Ambiental - RCA**. Belo Horizonte, MG, 2004, v.1, 114p.

_____. **Relatório de Controle Ambiental - RCA**. Belo Horizonte, MG, 2011a, v.1, 79p.

_____. **Plano de Controle Ambiental - PCA**. Belo Horizonte, MG, 2011b, v.1, 75p.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS – FIEMG; FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – FEAM. **Guia técnico ambiental da indústria de laticínios**. Belo Horizonte: FIEMG; FEAM, 2014. Disponível em: <

http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_laticinios.pdf >. Acesso em: 10 set. 2015.

FOX, P. F.; McSWEENEY, P. L. H. Dairy Chemistry and Biochemistry. **Blackie Academic & Professional**, 1 ed., 478p., 1198. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/saqibuos/files/Dairy%20Chemistry%20and%20Biochemistry.pdf>> Acesso em: 15 out. 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – FEAM. **Parecer técnico referente à concessão de licença**. Belo Horizonte: FEAM, 2004.

_____. **Parecer técnico referente à concessão de licença**. Belo Horizonte: FEAM, 2005.

_____. **Plano de ação para adequação ambiental das indústrias de recepção e preparação de leite e fabricação de produtos de laticínios no Estado de Minas Gerais**: relatório final. Belo Horizonte: FEAM, 2011. 129p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/levantamentos/plano_acao_laticinios.pdf>. Acesso em: 14 out. 2015.

_____. **IAQML - Índice de Avaliação da Qualidade do Monitoramento dos Efluentes Líquidos Industriais de Laticínios**: relatório final. Belo Horizonte: FEAM. 2015. 116p. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2016/AMBIENTA%C3%87%C3%83O/IAQML_-_Relat%C3%B3rio_Final_-_FINALIZADO_.pdf> Acesso em: 10 abr. 2016

KOSIKOWSKI, F. V. Whey utilization and whey products. **Journal of Dairy Science**, v.62, n.7, 1149- 1160 p., 1979. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(79\)83389-5/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(79)83389-5/pdf) >Acesso em: 15 out. 2015.

GUIMARÃES F.F., LANGONI H. Leite: alimento imprescindível, mas com riscos para a saúde pública. **Vet. Zootec**, 38-51 p. 2009. Disponível em: <www.fmvz.unesp.br/rvz/index.php/rvz/article/view/386>. Acesso em: 14 out. 2015.

GUEDES, A.F.L.M. et al. The Use of Whey in the Formulation of Beverages with Fruits and Vegetables. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 1231-1238 p., 2013. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/abmvz/v65n4/40.pdf> Acesso em: 29 out. 2015.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio das Velhas**: relatório 2013. Belo Horizonte: IGAM, 2013. 49p. Disponível em: <www.igam.mg.gov.br/images/.../estudo-saneamento-rio-das-velhas.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2015

LANGONI H. Tendências de modernização do setor lácteo: Monitoramento da qualidade do leite pela contagem de células somáticas. **Revta Educ. Cont**, São Paulo:57-64 p. 2000. Disponível em < <http://revistas.bvs-vet.org.br/recmvz/article/view/3332>>. Acesso em: 14 out. 2015.

MACHADO, R. M. G. et al. **Minas Ambiente – Controle Ambiental nas Pequenas e Médias Indústrias de Laticínios**. Belo Horizonte: 2002. 223 p.

MACHADO, R. M. G. et al. Alternativas tecnológicas para o controle ambiental em pequenas e médias indústrias de laticínios. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais**, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/vi-025.pdf>> . Acesso em: 08 set. 2015

MACHADO, R. M. G. et al. Controle Ambiental em indústrias de laticínios. **Brasil Alimentos**, 34-36p. Março/Abril 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v29n1/v29n1a06.pdf>> Acesso em: 21 out. 2015

MELLO, J. A. V. B. Inovação tecnologia e mudança logística no setor de leites fluidos. **II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGeT**, 2005

MENDONÇA, L. C. **Microbiologia e cinética de sistemas de lodos ativados como pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio de leite expandido**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=415531&indexSearch=ID>> Acesso em: 29 out. 2015

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 41 de 6 de janeiro de 2000. Altera a redação do item que menciona e dá outras providências. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, MG, 12 jan. 2000: Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, 2000.

_____. Deliberação Normativa COPAM nº 74 de 9 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, MG, 02 out. 2004: Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, 2004.

_____. Deliberação Normativa conjunta COPAM/ CERH nº 1 de 5 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos d’água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, MG, 13 mai. 2008: Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM e Conselho Estadual de Recursos hídricos – CERH, 2008.

_____. Deliberação Normativa COPAM nº 165 de 11 de abril de 2011. Prorroga os prazos previstos nas Deliberações Normativas COPAM nº 89, de 15-9-2005, nº 120, de 8 de agosto de 2008, e nº 158, de 6 de outubro de 2010, para acreditação ou homologação de laboratórios de medições ambientais e estabelece diretrizes para a apresentação de relatórios do Programa de Automonitoramento das fontes efetiva ou potencialmente poluidoras do meio ambiente. **Diário do Executivo – “Minas**

Gerais", Belo Horizonte, MG, 13 abr. 2011. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, 2011.

_____. Deliberação Normativa COPAM nº 167 de 29 de junho de 2011. Revisa e consolida as exigências para laboratórios que emitem relatórios de ensaios ou certificados de calibração referentes a medições ambientais, revoga as Deliberações Normativas COPAM nº 89, de 15 de setembro de 2005, nº 120, de 8 de agosto de 2008, nº 140, de 28 de outubro de 2009, nº 158, de 6 de outubro 2010 e os art. 1º e 2º da Deliberação Normativa COPAM nº 165, de 11 de abril de 2011. . **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte, MG, 20 ago. 2011. Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM, 2011.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada a probabilidade para engenheiros**, 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NATRON SB PROJETOS DE ENGENHARIA. **Memorial de cálculo e descritivo da Estação de Tratamento de Efluentes da Empresa A**. Belo Horizonte, MG, 1998, v.1, 12p.

NERO, L. A. et al. Leite cru de quatro regiões leiteiras brasileiras: perspectivas de atendimento dos requisitos microbiológicos estabelecidos pela instrução normativa 51. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas: v. 25, n. 1, p. 191-195, jan./mar. 2005. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/cta/v25n1/a30v25n1.pdf> Acesso em: 20 out. 2015

NORO, G. et al. Fatores ambientais que afetam a produção e a composição do leite em rebanhos assistidos por cooperativas no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Zootecnia**, v.35, n.3 (supl.),1129-1135 p., 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982006000400026> Acesso em: 18 out. 2015

PAULA, J.C.J. et al. Princípios Básicos de Fabricação de Queijo: do histórico a salga. **Revista do Instituto do Laticínio "Candido Torres"**, Minas Gerais: v. 64, n. 367/368,19 – 25 p., 2009. Disponível em: <www.revistadoilct.com.br/rilct/article/download/76/82>Acesso em: 15 out. 2015

PEARSON, H.W. Expanding the Horizons of Pond Technology and Application in a Environmentally Conscious World. **Wat. Sci. Tech**, v.33, n.7,1-9 p., 1996

PERLE, M. et al. Some biochemical aspects of the anaerobic degradation of dairy wastewater. **Water Research**, v. 29, n. 6, 1549-1554 p., 1995.

PRINCE, A. A. et al. Controle Ambiental em Pequenos e Médios Laticínios de Minas Gerais – Uma Pesquisa Aplicada. In: **20º Congresso da ABES**, Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: < www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/i-087.pdf> Acesso em: 29 out. 2015

RAUSCHKOLB, A. S. et al. Ligações setoriais na cadeia produtiva de leite em Mato Grosso. **Revista de Política Agrícola**, Brasília: v. 21, n. 3, p. 68-82, jul./ago./set. 2012. Disponível em:

<<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82665/1/Ligacoes-setoriais-na-cadeia-produtiva-de-leite-em-Mato-Grosso.pdf>> Acesso em: 27 out. 2015

ROBERT, N. F. Fabricação de iogurtes. **Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – Sbrt**, Rio de Janeiro: 32p., 2008. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/Mzlw>>. Acesso em: 15 out. 2015.

RODRIGUES, L.S. et al. Avaliação de desempenho de lagoa de polimento para pós-tratamento de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte : v. 61, n. 6, 1428-1433 p., dez. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-09352009000600024&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 29 out. 2015.

SANVIDO, G. B. **Efeito do tempo de armazenamento do leite cru e da temperatura de estocagem do leite pasteurizado sobre sua vida de prateleira**. [s.n.], 2007. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000415640&fd=y>>. Acesso em: 14 out. 2015.

SCARASSATI, D. et al. Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos. **III Fórum de estudos contábeis Unicamp**, Campinas: 2003. Disponível em: <<http://www.universoambiental.com.br/Arquivos/Agua/abatedouro.pdf>> Acesso em: 29 de out. 2015

SEZERINO, P. H.. **Potencialidade dos Filtros Plantados com Macrófitas (Constructed Wetlands) no Pós-Tratamento de Lagoas de Estabilização sob Condições de Clima Subtropical**. 166 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103142/225786.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 28 out. 2010

SILVA, D. J. P. **Diagnóstico do consumo de água e da geração de efluentes em uma indústria de laticínios e desenvolvimento de um sistema multimídia de apoio**. 101 p. Tese de Mestrado. Universidade de Viçosa. Viçosa, 2006

_____. **Resíduos na indústria de laticínios**. 21p. Universidade de Viçosa. Viçosa, 2011

SILVEIRA, W. B. **Produção de etanol em permeado de queijo: efeito da concentração de substrato e do nível de oxigênio**. Tese de Mestrado, UFV, Viçosa, 2004.

SIQUEIRA, K. B. et al. O mercado lácteo brasileiro no contexto mundial. **EMBRAPA – Circular Técnica**, p. 1-12, 2010.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Índice de tratamento de esgoto – ano 2014**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica> > Acesso em: 16 mar. 2016.

SUPORTE AO MINITAB 17. **O que fazer com dados não normais**. 2016. Disponível em: <<http://support.minitab.com/pt-br/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/introductory-concepts/normality/what-to-do-with-nonnormal-data/>>. Acesso em: 15 mai.2016.

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE MEIO AMBIENTE – SUPRAM. **Parecer técnico referente à concessão de licença**. Belo Horizonte: SUPRAM, 2011.

VIEIRA M.C. et al. Produção de doce de leite tradicional, light e diet: Estudo comparativo de custos e viabilidade econômica. **ITAL**, 2011. Disponível em: <http://www.ital.sp.gov.br/tecnolat/arquivos/artigos/producao_de_doce_de_leite_tradicional_light_e_diet.pdf>. Acesso em: 14 out. 2015.

VILELA, D. A importância econômica, social e nutricional do leite. **Revista Batavo**, nº 111, dez. 2001/jan. 2002. Disponível em: <www.nupel.uem.br/importancia.pdf>. Acesso em: 05 set. 2015

VILLA, R. D. et al. Potencial de aplicação do processo foto-fenton/solar como pré-tratamento de efluente da indústria de laticínios. **Química Nova**, vol. 30, nº. 8, 1799-1803 p., 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000800002> Acesso em: 28 out. 2015

VOURCH, M. et al. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. **Desalination**, v. 219, 190–202 p., 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916407005747>> Acesso em: 19 out. 2015

von SPERLING, M. **Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias: introdução a qualidade das águas e ao tratamento dos esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014, 472 p.

WRIGHT J.T.C.; GIOVINAZZO R.A. Delphi: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Cad Pesq Admin**, 55-65 p., 2000. Disponível em: <regeusp.com.br/arquivos/C12-art05.pdf> Acesso em: 28 out. 2015

APÊNDICE A

Questionário aplicado à indústria de laticínios

Empresa:

Data:

Município:

Zona Rural ()

Zona Urbana ()

1. Existe um funcionário responsável pela operação manutenção da ETE? Se sim, qual a formação dele?

Resposta:

2. Quais são as etapas do processo industrial do laticínio?

Resposta:

3. Qual o volume de recepção de leite por dia?

Resposta:

4. Qual a capacidade instalada da empresa em litros por dia?

Resposta:

5. Quais os produtos fabricados pela empresa (A) e qual a participação percentual de cada um deles no volume de leite recebido (B)?

| Produto | A | B |
|---------------------|-----|------|
| Bebida láctea | () | (%) |
| Doce de leite | () | (%) |
| Iogurte | () | (%) |
| Leite em pó | () | (%) |
| Leite longa vida | () | (%) |
| Leite pasteurizado | () | (%) |
| Manteiga | () | (%) |
| Minas Frescal | () | (%) |
| Mussarela | () | (%) |
| Queijo do reino | () | (%) |
| Queijo minas padrão | () | (%) |

| Produto | A | B |
|------------------------|-----|------|
| Queijo parmesão | () | (%) |
| Queijo prato | () | (%) |
| Queijo provolone | () | (%) |
| Queijos finos com mofo | () | (%) |
| Queijos finos sem mofo | () | (%) |
| Requeijão culinário | () | (%) |
| Requeijão pastoso | () | (%) |
| Outros (especificar): | | |
| | () | (%) |

6. Qual a quantidade de soro de leite gerada?

Resposta:

7. Qual o destino do soro de leite? Colocar qual a porcentagem do total de soro gerado é referente a cada destino. Ex. (100%) Secagem

(%) Secagem

(%) Produção de ricota

(%) Utilização na alimentação animal

(%) Venda. Especificar para quem é vendido:

Valor de venda:

(%) Utilização em bebida láctea

(%) Manteiga

(%) Doação para produtores rurais

(%) Outros. Especificar:

8. Qual a vazão média diária de água consumida no laticínio? A empresa tem implantado ou pretende implantar algum programa para redução do consumo de água? Se sim, favor especificar?

Resposta:

9. Quais as principais dificuldades para redução do consumo de água no laticínio?

- () Necessidade de limpeza e higienização dos equipamentos
- () O custo da água é muito baixo inviabilizando qualquer tipo de investimento
- () Falta de treinamento dos funcionários
- () Falta de ferramentas ou programas que auxiliam a redução do consumo
- () Outros. Especificar: _____

10. A empresa realiza o tratamento dos seus efluentes industriais? () Sim () Não

11. Qual a vazão média diária de efluentes líquidos sanitários (banheiros, refeitório, etc) gerados pela empresa?

Resposta:

12. Qual a vazão média diária de efluentes industriais gerados pela empresa?

Resposta:

13. O tratamento de efluentes sanitários ocorre no mesmo sistema que o de tratamento de efluentes industriais? () Sim () Não

14. Qual é o custo **mensal de operação** desse sistema? (incluindo custos de manutenção, de análises físico-químicas, de pessoal, de energia...)

Resposta:

15. Qual o custo de operação percentual que o tratamento de efluentes industriais (ou sanitários + industriais, caso o sistema seja o mesmo) representa para a empresa?

- () Menor que 5%
- () Entre 5 e 10%
- () Maior que 10%

16. Qual foi o custo de **implantação** do sistema de tratamento de efluentes?

Resposta:

17. Qual o sistema de tratamento adotado para os efluentes industriais? Porque foi escolhido esse sistema?

Resposta:

18. Quando esse sistema foi implantado? O sistema já necessitou ser alterado após sua implantação? Se sim, porque?

Resposta:

19. Em algum período ele ficou paralisado por tempo superior a uma semana? Favor especificar o período e o motivo da paralisação.

Resposta:

20. Qual o tempo de funcionamento diário da ETE? E o tempo de funcionamento diário da produção do laticínio?

Resposta:

21. Existem picos de vazão de efluentes? Quais são os horários de maior e menor vazão?

Resposta:

22. Qual é o tipo do desinfetante usado na limpeza dos pisos e equipamentos (ácido ou básico)?

Resposta:

23. Qual são as dimensões das unidades da ETE?

Resposta:

24. Qual o tempo de detenção hidráulica do sistema?

Resposta:

25. O sistema funciona em fluxo contínuo ou batelada? Se for em batelada, qual o tempo médio que o sistema fica em descanso?

Resposta:

26. São usados produtos químicos no processo de tratamento? Especifique qual produto e em qual etapa.

Resposta:

27. Em qual corpo receptor é lançado os efluentes? Qual a classe desse corpo receptor?

Resposta:

28. Existem outros lançamentos conhecidos nesse corpo receptor próximos de onde são lançados os efluentes da empresa, tanto a montante quanto a jusante? Favor especificar.

Resposta:

29. Quais as principais dificuldades enfrentadas pela empresa no tratamento de seus efluentes?

Resposta:

30. A empresa realiza ou pretende realizar o reúso dos efluentes tratados? Especifique.

Resposta:

31. Qual é o programa de automonitoramento de efluentes e águas superficiais, estabelecido em condicionante, vigente no momento? Houveram modificações no programa de automonitoramento a partir do ano de 2008 até os dias atuais? Se sim, favor especificá-las.

Resposta:

APÊNDICE B

Memorial de cálculo – aplicação do IAQML (CD anexo)

APÊNDICE C

Tabela 27 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença significativa dos parâmetros de qualidade da água do corpo receptor da Empresa A

| PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA | VALOR-P DO TESTE DE IGUALDADE DE VARIÂNCIAS | VALOR-P DO TESTE T | VALOR-P DO TESTE MANN-WHITNEY |
|--------------------------------|---|--------------------|-------------------------------|
| DBO | 0,442 | 0,380 | - |
| Sólidos suspensos | 0,745 | 0,603 | - |
| Nitrogênio amoniacal | 0,096 | 0,189 | - |
| Cloretos | 0,001 | - | 0,0113 |
| Fósforo | 0,206 | 0,165 | - |
| Temperatura | 0,550 | 0,438 | - |
| pH | 0,613 | 0,081 | - |

APÊNDICE D

Tabela 28 - Resultados dos testes estatísticos realizados com um nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$) para verificar a existência ou não de diferença significativa dos parâmetros de qualidade da água do corpo receptor da Empresa B

| PARÂMETRO DE QUALIDADE DA ÁGUA | VALOR-P DO TESTE DE IGUALDADE DE VARIÂNCIAS | VALOR-P DO TESTE T | VALOR-P DO TESTE MANN-WHITNEY |
|--------------------------------|---|--------------------|-------------------------------|
| pH | 0,904 | 0,730 | - |
| DBO | 0,414 | 0,651 | - |
| OD | 0,217 | 0,638 | - |
| Turbidez | 0,254 | 0,627 | - |
| Temperatura | 0,994 | 0,973 | - |