



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

NAASSOM WAGNER SALES MORAIS

**INVENTÁRIO SOBRE OS PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES E
REÚSO DE ÁGUAS E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE DE UM
EFLUENTE INDUSTRIAL**

FORTALEZA

2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

NAASSOM WAGNER SALES MORAIS

**INVENTÁRIO SOBRE OS PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES E
REÚSO DE ÁGUAS E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE DE UM
EFLUENTE INDUSTRIAL**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Grau de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

M826i Morais, Naassom Wagner Sales.
 Inventário sobre os padrões de lançamento de efluentes e reúso de águas e análise de
 eficiência e confiabilidade de um efluente industrial / Naassom Wagner Sales Morais. – 2016.
 102 f. : il.; color.

 Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
 Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza,
 2016.

 Orientação: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos.

 1. Engenharia Ambiental. 2. Saneamento. 3. Tratamento de Efluentes Industriais.

I. Título.

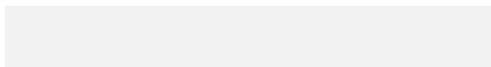
NAASSOM WAGNER SALES MORAIS

**INVENTÁRIO SOBRE OS PADRÕES DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES E
REÚSO DE ÁGUAS E ANÁLISE DE EFICIÊNCIA E CONFIABILIDADE DE UM
EFLUENTE INDUSTRIAL**

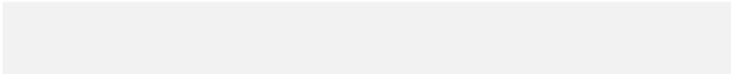
Monografia apresentada à Coordenação do
Curso de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial para obtenção do Grau de Engenheiro
Ambiental.

Aprovada em: 12/02/2016.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. André Bezerra dos Santos
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Ana Bárbara de Araújo Nunes
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti
Universidade Federal do Ceará (UFC)

DEDICATÓRIA

Ao acordar procuro direção, Mas logo os pensamentos me deixam em confusão.

Mas quando me rendo a Ti, um rumo me dás a seguir.

Com Tuas promessas para mim, eu hoje clamo a Ti.

Teu Plano não leva onde a Graça me falte.

Tua mão me protege descanso só em Ti.

Teu olho me assistirá. Com amor me perdoará

E quando eu desviar não me abandonará.

Cada dia é traçado pela mão.

Do Mestre que revela a sua direção.

Guarde os meus passos, quando eu desviar.

Renove a alegria da Tua Salvação.

Teu Plano não leva onde a Graça me falte.

Tua mão me protege descanso só em Ti.

Teu olho me assistirá. Com amor me perdoará

E quando eu desviar não me abandonará.

E quando eu desviar não me abandonará.

Carolyn Hamlin

Dedico a Deus toda minha vida e que Seus Planos se realizem no meu caminhar.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todo o Seu Plano em minha vida e por sempre estar me sustentando.

Ao meu orientador André Bezerra por suas instruções e conselhos e por ser um exemplo de profissional que almejo ser.

Aos meus professores do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará pelos conhecimentos e instruções transmitidos, especialmente aos professores: André Bezerra, Ana Bárbara e Ronaldo Stefanutti por terem acreditado em meu potencial como aluno e futuro profissional.

Aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e orando para o cumprimento da vontade de Deus em minha vida.

Aos meus pais por todo o esforço e dedicação em minha criação.

RESUMO

A indústria é uma das atividades que apresenta um grande consumo de água potável devido à necessidade em seus processos produtivos. A maioria das indústrias possuem Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEIs), sendo que após o tratamento os efluentes são liberados em corpos hídricos. No entanto, esses efluentes poderiam ser reutilizados pelas indústrias, visando à economia de água e a minimização dos impactos acarretados pelo lançamento dos efluentes. O presente estudo tem como objetivo geral desenvolver um inventário sobre os padrões de lançamento de efluentes e reúso de águas, estabelecer níveis de restrição e realizar uma análise de eficiência e confiabilidade para verificação do atendimento à Portaria da SEMACE nº 154/2002, com base nos dados de qualidade de um efluente tratado proveniente de uma indústria de laticínios, verificando a possibilidade de aplicação do efluente tratado para reúso em irrigação. Para tanto, foram analisados os dados de qualidade físico-química e microbiológica dos efluentes de uma ETEI e realizadas análises de confiabilidade. Simultaneamente, foi elaborado um inventário sobre os padrões de lançamento de efluentes e se estabeleceu níveis de restrição com base nos parâmetros adotados por 17 estados brasileiros em comparação com a legislação federal. Essa análise foi realizada com o intuito de verificar a variação no atendimento à legislação vigente por meio da adoção de padrões menos restritivos. O efluente da indústria de laticínios estudada não atende ao padrão de qualidade exigido para alguns parâmetros estipulados pela legislação vigente no estado do Ceará, como DQO, SST e amônia. Verificou-se que alguns dos limites estabelecidos pela Portaria da SEMACE nº 154/02 encontram-se classificados como muito restritivos ou restritivos, se configurando como um empecilho ao atingimento dos padrões estabelecidos. Utilizando limites menos restritivos adotados por outros estados brasileiros, como RS, PE, RJ, MG, apurou-se que os parâmetros com baixo atendimento, DQO e Amônia, obtiveram um expressivo aumento no atendimento à meta estipulada. Entretanto, o mesmo não ocorreu com o parâmetro SST. Isso se deve ao fato das elevadas concentrações presentes desse parâmetro no efluente dos sistemas de lagoas de estabilização. De forma paralela, foi desenvolvido um inventário sobre recomendações e diretrizes de qualidade das águas para reúso em irrigação. Constatou-se que alguns parâmetros do efluente tratado não atendem as recomendações adotadas para esse tipo de reúso, a saber, pH, SST, SDT, Amônia, Cloretos, Sódio e E. coli. Desta forma, não se recomenda a utilização do efluente tratado para a prática de irrigação devido ao risco de salinização do solo e a falta de amparo legal. Ressalta-se a importância de uma revisão dos critérios atuais adotados de padrões de lançamento de efluentes em corpos

hídricos no estado do Ceará, assim como, o estabelecimento, em nível federal e estadual, de legislações que definam padrões de reúso a serem seguidos em diversas atividades.

Palavras Chaves: Padrões de Lançamento de Efluentes, Reúso em Irrigação, Análise de Eficiência e Confiabilidade.

ABSTRACT

The industry is a high potable water consumer due to its own processes demand of this source. Most industries have a Sewage Treatment Plant, in which the effluents are released in water bodies. However, the sewage could be reutilized by the industry, aiming water economy and reduction of the impacts of effluent disposal. This study aimed to develop an inventory of sewage treatment standards and wastewater disposal and reuse, to set restrictive levels and to conduct an efficiency and reliability analysis in order to assess compliance with SEMACE 154/2002, upon evaluation of effluent coming from a dairy industry, with the possibility of reuse in irrigation. Evaluation of physicochemical quality and microbiological data coming from the STP together with reliability analysis was conducted in parallel with the inventory of wastewater disposal, in which restrictive levels based on parameters adopted in 17 Brazilian states were established, in comparison with federal law. The analysis attempted to verify the accordance with the current legislation under less restrictive standards. The sewage from the STP was poorly in compliance with the legislation established by SEMACE n° 154/02 regarding COD, TSS, NH₃ and E coli levels. The inventory of Wastewater Disposal Standards and the restrictive levels demonstrated many limits set by SEMACE n° 154/02 are classified as too restrictive or restrictive, which becomes a restraint in accomplishing compliance with the established standards. By using less strict limits adopted in other Brazilian states, such as RS, PE, RJ and MG, it was clear that parameters with low level of compliance, COD and Ammonia, achieved an expressive positive change, becoming compliant with the set target. However, even with a less restrictive concentration, the TSS kept non-compliant with the target due to high concentrations present in the sewage of stabilization pond systems. Also, some other parameters did not follow recommendations usually adopted during reuse in irrigation, as pH, TSS, TSD, Ammonia, Chlorides, Sodium and E. coli. Thus, it is not recommended to use the treated sewage in the irrigation process due to the high risk in soil salinization and the lack of legal support. Ultimately, the importance of a revision of the current criteria adopted on wastewater disposal in water bodies in the state of Ceara, as well as the establishment of federal and state legislations that set up reuse standards to be followed in different activities are the conclusions resulted from the evaluation here presented.

Keywords: Industrial Effluent Disposal Standards, Reuse in Irrigation, Analysis of Efficiency and Reliability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Diagrama de Classificação do Efluente quanto a Salinidade e Sodicidade.	37
Figura 4.1 – Fluxograma da Metodologia.	48
Figura 4.2 – Croqui da ETEI da Indústria de Laticínios estudada.	49
Figura 4.3 – Vista aérea das lagoas e do corpo receptor.	49
Figura 4.4 – Etapas para determinação do CDC e das concentrações de projeto.	53
Figura 4.5 – Etapas para determinação do percentual esperado de atendimento à legislação. .	54
Figura 5.1 – <i>Box-plot</i> do parâmetro pH.	65
Figura 5.2 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro pH.	65
Figura 5.3 – <i>Box-plot</i> do parâmetro DQO filtrada.	66
Figura 5.4 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro DQO filtrada.	66
Figura 5.5 – <i>Box-plot</i> do parâmetro DBO filtrada.	67
Figura 5.6 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro DBO filtrada.	68
Figura 5.7 – <i>Box-plot</i> do parâmetro Sólidos Suspensos Totais.	68
Figura 5.8 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Sólidos Suspensos Totais.	69
Figura 5.9 – <i>Box-plot</i> do parâmetro Amônia.	70
Figura 5.10 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Amônia.	70
Figura 5.11 – <i>Box-plot</i> do parâmetro Condutividade.	71
Figura 5.12 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Condutividade.	71
Figura 5.13 – <i>Box-plot</i> do parâmetro Sulfato.	72
Figura 5.14 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Sulfato.	72
Figura 5.15 – <i>Box-plot</i> do parâmetro Sulfeto.	73
Figura 5.16 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Sulfeto.	73
Figura 5.17 – <i>Box-plot</i> do parâmetro Fluoreto.	74
Figura 5.18 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Fluoreto.	74
Figura 5.19 – <i>Box-plot</i> do parâmetro <i>E.coli</i>	75
Figura 5.20 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro <i>E. coli</i>	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Critérios da Califórnia para Tratamento e Reúso das Águas Residuárias.	21
Tabela 3.2 – Critérios de Qualidade Microbiológica Recomendada pela USEPA, em 1992, para a utilização de Águas Residuárias na Agricultura.	22
Tabela 3.3 – Exemplos de Padrões Globais de Qualidade da Água para Irrigação de Culturas Não-Alimentares.....	23
Tabela 3.4 – Recomendações da OMS Relativas à Qualidade Microbiológica para o Uso Agrícola de Efluentes de ETE.	24
Tabela 3.5 – Diretrizes do PROSAB para o Uso Agrícola de Esgotos Sanitários.	26
Tabela 3.6 – Diretrizes da NBR 13.969/97 para Reúso de Efluentes Tratados.....	27
Tabela 3.7 – Padrões SEMACE para a Reutilização de Efluentes Domésticos em Atividades Agronômicas.....	28
Tabela 3.8 – Limites de DBO Adotados por Diversos Países e Regiões.	30
Tabela 3.9 – Diretrizes para Avaliar a Qualidade da Água para Irrigação.....	31
Tabela 3.10 – Grau de Restrição de Uso de Macronutrientes em Águas de Irrigação.....	32
Tabela 3.11 – Concentração Máxima de Elementos Químicos em Águas para Irrigação.	33
Tabela 3.12 – Classes de Salinidade para Águas de Irrigação.	34
Tabela 3.13 – Graus de Restrição para Uso de acordo com o Critério de Salinidade.....	34
Tabela 3.14 – Grau de Restrição de Uso para a RAS e a CE em Águas de Irrigação.....	35
Tabela 3.15 – Componentes que interferem na qualidade dos sistemas de irrigação.	38
Tabela 3.16 – Comparação da eficiência de remoção de poluentes entre as lagoas de estabilização.....	40
Tabela 3.17 – Comparação da eficiência de remoção de poluentes entre sistemas de lagoas de estabilização.....	41
Tabela 3.18 – Operações e processos que geram efluentes na indústria de laticínios.....	44
Tabela 3.19 — Características dos efluentes gerados nas indústrias de laticínios.....	45
Tabela 3.20 – Padrões de Lançamento de Efluentes	46
Tabela 3.21 – Sistemas de Tratamentos Secundários Adotados por Indústrias.	47
Tabela 4.1 – Padrões de descarte para efluentes de ETEs.....	51
Tabela 4.2 – Variável normal padronizada para vários níveis de confiabilidade.....	52
Tabela 5.1 – Comparação entre os Padrões de Lançamento Estaduais.	57
Tabela 5.2 – Comparação entre os Padrões de Lançamento Estaduais (Continuação).	58

Tabela 5.3 – Níveis de Restrições dos Padrões de Lançamento.....	61
Tabela 5.4 – Análise estatística das amostras dos efluentes.....	64
Tabela 5.5 – Média, Coeficiente de Variação, Coeficiente de Confiabilidade, Concentração de Projeto e atendimento a legislação das amostras com confiabilidade de 95% de atendimento ao padrão.....	77
Tabela 5.6 – Comparação entre as Características do Efluente da Indústria X com as Recomendações Adotadas para Reúso em Irrigação.....	78
Tabela 5.7 – Resumo dos Parâmetros e Recomendações para Reúso de Efluentes em Irrigação apresentados.....	79
Tabela 5.8 – Resumo dos Parâmetros e Recomendações para Reúso de Efluentes em Irrigação apresentados nesse estudo (Continuação).....	80
Tabela 5.9 – Comparação entre as Características do Efluente da Indústria X com as Recomendações Adotadas para Reúso em Irrigação.....	81

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVOS	14
2.1.	Objetivo Geral	14
2.2.	Objetivos Específicos	14
3.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	15
3.1.	Reúso em Irrigação	15
3.1.1.	<i>Impactos e Medidas de Controle</i>	<i>17</i>
3.1.2.	<i>Qualidade Microbiológica das Águas de Reúso para Irrigação</i>	<i>20</i>
3.1.3.	<i>Qualidade Físico-Química Das Águas De Reúso Para Irrigação.....</i>	<i>28</i>
3.1.4.	<i>Componentes Que Interferem Na Qualidade Do Sistema De Irrigação.....</i>	<i>37</i>
3.2.	Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos.....	39
3.3.	Análise de Eficiência e Confiabilidade	40
3.3.1.	<i>Eficiência</i>	<i>40</i>
3.3.2.	<i>Confiabilidade</i>	<i>41</i>
3.3.3.	<i>Percentual Esperado de Atendimento a Padrões de Lançamento de Efluentes.....</i>	<i>43</i>
3.4.	Indústria de Laticínios	44
4.	MATERIAL E MÉTODOS	48
4.1.	Procedimento Geral	48
4.2.	Descrição da ETEI.....	49
4.3.	Levantamento e Organização dos Dados	50
4.4.	Remoção de Outliers	50
4.5.	Estatística Descritiva do Número de Dados	51
4.6.	Atendimento aos Limites Preconizados pela Legislação	51

4.7. Cálculo da Confiabilidade da Estação	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1. Inventário e Análise de Padrões de Lançamento de Efluentes em Nível Nacional com o estabelecimento de Níveis de Restrição	55
5.2. Análise de Eficiência	62
5.3. Análise de Confiabilidade	63
5.3.1. <i>pH</i>	65
5.3.2. <i>DQO</i>	66
5.3.3. <i>DBO</i>	67
5.3.4. <i>Sólidos Suspensos Totais</i>	68
5.3.5. <i>Amônia</i>	69
5.3.6. <i>Condutividade</i>	70
5.3.7. <i>Sulfato</i>	71
5.3.8. <i>Sulfeto</i>	72
5.3.9. <i>Fluoreto</i>	73
5.3.10. <i>E. coli</i>	75
5.3.11. <i>Percentual Esperado de Atendimento à Legislação</i>	76
5.4. Análise da Alteração no Grau de Atendimento a Legislação Por Meio de Modificações no Nível de Restrição dos Parâmetros.....	78
5.5. Inventário de Diretrizes e Recomendações para Reúso em Irrigação	79
5.6. Análise do Efluente em Relação às Diretrizes e Recomendações Propostas para Reúso em Irrigação.....	81
6. CONCLUSÃO.....	83
7. RECOMENDAÇÕES.....	84
8. BIBLIOGRAFIA	85
ANEXOS	91
ANEXO A – VALORES DE CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS	92

1. INTRODUÇÃO

A indústria é uma das atividades que apresenta um grande consumo de água potável devido à necessidade em seus processos produtivos. A maioria das indústrias possuem Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEIs), cujo destino final do esgoto tratado é, normalmente, em águas superficiais.

No entanto, esses efluentes poderiam ser reutilizados pelas indústrias, visando à economia de água e a minimização dos impactos acarretados pelo lançamento dos efluentes. Essa prática se torna importante, em vista à escassez hídrica enfrentada por diversas regiões, seja pela própria falta de água como pela qualidade inadequada da mesma; bem como pela degradação dos recursos hídricos em nosso planeta devido à ação antrópica.

Por esses motivos, as águas residuárias industriais estão sendo consideradas como um recurso hídrico a ser utilizado para diversas atividades humanas, como na irrigação, nos processos industriais e em finalidades menos nobres, como lavagem de pisos.

Com efeito, o reúso planejado dos efluentes industriais tratados torna-se um recurso importante para a diminuição da exploração de mananciais e, conseqüentemente, para a redução da demanda de água bruta, pela substituição do uso de água potável por uma água de qualidade inferior, sendo observada a qualidade requerida para os diversos usos.

Outro recurso importante que visa resguardar a qualidade dos mananciais são os Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos, estabelecidos em nível federal pela Resolução CONAMA n° 430/2011. Esse instrumento legal facilita a fiscalização dos agentes poluidores e a detecção e autuação dos responsáveis pela degradação ambiental.

Dessa forma, objetiva-se, com este estudo desenvolver um inventário sobre os padrões de lançamento de efluentes e reúso de águas, estabelecer níveis de restrição e realizar uma análise de eficiência e confiabilidade para verificação do atendimento à Portaria da SEMACE n° 154/2002, com base nos dados de qualidade de um efluente tratado proveniente de uma indústria de laticínios, verificando a possibilidade de aplicação do efluente tratado para reúso em irrigação.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um inventário sobre os padrões de lançamento de efluentes e reúso de águas, estabelecer níveis de restrição e realizar uma análise de eficiência e confiabilidade para verificação do atendimento à Portaria da SEMACE n° 154/2002, com base nos dados de qualidade de um efluente tratado proveniente de uma indústria de laticínios, verificando a possibilidade de aplicação do efluente tratado para reúso em irrigação.

2.2. Objetivos Específicos

Calcular a concentração média de projeto dos parâmetros analisados para o cumprimento da legislação vigente com base em um percentual de confiabilidade adotado.

Analisar a alteração no grau de atendimento a legislação por meio da modificação no nível de restrição dos parâmetros.

Analisar o Efluente em relação às recomendações adotadas para Reúso em Irrigação.

3. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

3.1. Reúso em Irrigação

Reúso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original (LAVRADOR FILHO, 1987 apud MOTA, 2007).

Essa prática é muito utilizada em várias partes do mundo, inclusive no Brasil. Isso ocorre, principalmente, em vista à escassez hídrica enfrentada por diversas regiões, seja pela própria falta de água como pela qualidade inadequada da mesma.

Uma de suas modalidades mais usuais é o reúso em irrigação que se mostra como uma alternativa a ser considerada para a diminuição do uso de água nobre para práticas agrícolas, as quais consomem de 60 a 70% da água do planeta.

Outra contribuição é o não lançamento de efluentes em corpos receptores, os quais, em determinadas regiões do país, são intermitentes ou não possuem vazões suficientes para a diluição dos poluentes, podendo ocasionar também a eutrofização dos corpos hídricos.

No Brasil, a prática de reúso possui diversas aplicações potenciais, dentre elas, a piscicultura, a irrigação de áreas verdes, a agricultura, nos processos industriais e na regularização de vazões de corpos hídricos. Entretanto, verifica-se a falta de um marco regulatório legal, em nível nacional, que estabeleça padrões que conduzam essa prática.

Cabe, entretanto, institucionalizar, regulamentar e promover o reúso de água no país, fazendo com que a prática se desenvolva de acordo com princípios técnicos adequados, seja economicamente viável, socialmente aceita, e segura, em termos de preservação ambiental (HESPANHOL, 2003).

Dessa forma, o estabelecimento de Diretrizes e Padrões associados ao reúso mostra-se importante e necessário para a homogeneidade regional ou local dos critérios de qualidade utilizados nessa atividade, norteando os Órgãos Ambientais quanto à permissividade dessa prática e quanto aos critérios microbiológicos e físico-químicos aceitáveis para a não geração e ou minimização de impactos adversos ao meio ambiente e ao homem.

As Diretrizes e Recomendações possuem caráter orientativo, ou seja, não são estabelecidas com finalidade de atendimento absoluto, mas de fixar uma base de riscos aceitáveis.

Os Padrões são estabelecidos em nível nacional por leis, regulamentos e ou decretos, considerando as realidades econômica, social, tecnológica, cultural e climática do país. Devem ser cumpridos em sua totalidade e podem ser alterados ou complementados quando necessário. Seu não cumprimento pode ocasionar penas legais ao infrator, como o pagamento de multas e suspensão da atividade.

Muitos países adotam algum tipo de aparato legal próprio para nortear o uso de efluentes domésticos tratados na irrigação, como Peru, Japão, Israel, Suíça, EUA e outros. No entanto, muitos seguem as diretrizes da Organização Mundial da Saúde, principalmente no que se refere aos critérios microbiológicos.

No Brasil, os padrões comumente adotados são da Organização Mundial da Saúde e diretrizes nacionais, como as estabelecidas pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), a NBR 13.969 de 1997 e limites estaduais definidos pelos Órgãos Estaduais e/ou Municipais de Meio Ambiente.

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54 de 2005, estabelece critérios gerais para reúso de água não potável e, em seu artigo 3º, estabelece as seguintes modalidades:

- a) Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio dentro da área urbana;
- b) Reúso para fins agrícolas e florestais: aplicação de água de reúso para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- c) Reúso para fins ambientais: utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- d) Reúso para fins industriais: utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais;
- e) Reúso na aquicultura: utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.

De acordo com Filho e Mancuso (2003) o reúso de águas pode ser classificado como:

- a) Indireto não planejado: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em

sua forma diluída, de maneira não intencional e não, estando sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico;

- b) Indireto planejado: ocorre quando os efluentes depois de tratados são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizados a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico;
- c) Direto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, não sendo descarregados no meio ambiente;
- d) Reciclagem da água: é o reúso interno da água em determinado processo, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou local de disposição.

Com efeito, o reúso planejado de águas residuárias torna-se um recurso importante para a diminuição da exploração de mananciais e, conseqüentemente, para a redução da demanda de água bruta, pela substituição do uso de água potável por uma água de qualidade inferior, sendo observada a qualidade requerida para os diversos usos.

3.1.1. Impactos e Medidas de Controle

O uso de esgotos tratados em irrigação é uma prática recomendada não somente para regiões em que existe escassez hídrica, mas para todas que buscam alternativas para a preservação da água para usos mais nobres, como o consumo humano e a dessedentação de animais. (MOTA *et al*, 2007).

As principais vantagens com a adoção dessa prática são:

- a) O aumento da oferta de água;
- b) A disponibilidade de água durante todo o ano devido à produção constante de esgotos;
- c) Uso de água potável para fins mais nobres;
- d) Redução do lançamento de efluentes em corpos hídricos, diminuindo o risco de poluição;
- e) Utilização da técnica de fertirrigação, utilizando os nutrientes encontrados nos esgotos e diminuindo o uso de fertilizantes artificiais;

- f) Estabilização do solo e, conseqüentemente, diminuição de processos erosivos devido à adição de matéria orgânica;
- g) Benefícios econômicos com a redução do volume utilizado de água e com a redução do volume de efluentes lançados em tubulações pertencentes a Companhias ou Empresas Gestoras de Água e Esgoto;
- h) Contribui para o aumento da produção de alimentos, elevando, assim, os níveis de saúde, qualidade de vida e condições sociais das populações inseridas nesse contexto;
- i) Auxílio na aquisição de certificações ambientais, como a ISO 14001, por empresas e ou indústrias que utilizam águas de reúso em atividades estratégicas, como rega de jardins e lavagem de pisos;
- j) Benefícios indiretos, como a redução de gastos públicos para a despoluição de corpos hídricos.

Segundo Paganini (2003), o uso de águas residuárias tratadas em irrigação está progressivamente tornando-se mais atrativo devido as seguintes considerações:

- a) Dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de água para irrigação;
- b) Custos elevados de fertilizantes;
- c) Segurança de que os riscos à saúde pública e ao meio ambiente podem ser minimizados com a adoção de medidas de controle;
- d) Aceitação sociocultural da prática do reúso agrícola;
- e) Reconhecimento pelos órgãos gestores dos recursos hídricos da importância dessa prática.

Sistemas de reúso adequadamente planejados e administrados podem proporcionar melhorias na qualidade ambiental, como a minimização do volume de esgotos lançados em corpos hídricos; protegendo o manancial e diminuindo o risco de eutrofização e a conservação do solo pela adição de húmus, tornando-o mais resistente contra processos erosivos. (HESPANHOL, 2003).

Outras vantagens são apresentadas por Bastos (2003), como:

- a) Fornecimento de nutrientes ao solo, proporcionando aumento da produtividade agrícola e a diminuição do uso de fertilizantes;

- b) Contribui para amenizar o clima por meio da irrigação de zonas verdes, como parques públicos e jardins, proporcionando, também, a diminuição do uso de água de melhor qualidade;
- c) Recuperação de áreas agrícolas improdutivas.

Entretanto a prática de reúso em irrigação apresenta possíveis impactos ambientais e riscos sanitários os quais devem ser considerados para assegurar a proteção ao meio ambiente e ao homem. Conforme Mota *et al* (2007), algumas desvantagens são:

- a) Rejeição da população devido à desconfiança quanto à possibilidade de segurança dessa prática;
- b) Riscos de contaminação ambiental;
- c) Riscos de transmissão de doenças aos consumidores de produtos originados de águas de reúso;
- d) Possíveis alterações do solo, como salinização e impermeabilização;
- e) Possíveis danos às culturas devido aos componentes presentes nas águas de reúso;
- f) Contaminação de recursos hídricos, caso ineficácia do tratamento do esgoto.

Conforme Hespanhol (2003), os constituintes presentes no esgoto como substâncias químicas, orgânicas e inorgânicas, microrganismos patógenos ou outras formas de poluição, podem acarretar risco à saúde humana e provocar efeitos adversos no solo e nas plantas. Segundo Mota *et al* (2007), os principais impactos acarretados pela prática de reúso sobre o meio ambiente são:

- a) Alterações nas características do solo, como consequência do reúso em irrigação: salinização e alterações na permeabilidade;
- b) Dispersão de Aerossóis, resultantes da irrigação por aspersão, os quais podem alcançar áreas adjacentes e disseminar microrganismos patogênicos;
- c) Poluição das águas subterrâneas, como resultado de aplicação de esgotos no solo ou em recarga de aquíferos, carreando produtos químicos como nitratos, metais pesados, dentre outros;
- d) Poluição das águas superficiais, pelo carreamento de poluentes do solo ou pelo lançamento excessivo de águas residuárias não reusadas na irrigação (em períodos chuvosos, por exemplo);
- e) Toxicidade às plantas causada por constituintes do esgoto tratado.

Segundo Blum (2003), do ponto de vista sanitário, os riscos à saúde humana ocorrem devido ao contato das pessoas com as águas de reúso que podem ocorrer das seguintes formas:

- a) Contato por ingestão direta da água;
- b) Contato por ingestão de alimentos crus e verduras irrigadas e consumidas cruas;
- c) Contato por ingestão de alimentos processados (caso dos vegetais enlatados que foram irrigados com água de reúso);
- d) Contato por banhos em lagos contendo água de reúso;
- e) Contato por inalação de aerossóis formados, por exemplo, em sistemas de irrigação por aspersão ou em aeração superficial de lagos.

Por esses motivos, torna-se necessário a adoção de medidas de controle para a utilização das águas de reúso, tornando essa prática segura. A Organização Mundial da Saúde (2006) estabeleceu medidas de proteção à saúde, para o reúso em irrigação:

- a) Tratamento do esgoto e técnicas de aplicação;
- b) Restrição de algumas culturas;
- c) Morte dos patógenos entre a última irrigação e o consumo;
- d) Medidas de preparação de alimentos, como lavagem, desinfecção, retirada de casca e cozimento;
- e) Controle da exposição humana.

Dessa forma, o tratamento dos efluentes é uma das medidas principais para assegurar a diminuição dos impactos ambientais e sanitários potenciais do reúso em irrigação, visando gerar um efluente com qualidade microbiológica e físico-química aceitável para uma determinada modalidade de reúso.

3.1.2. Qualidade Microbiológica das Águas de Reúso para Irrigação

Os critérios de qualidade microbiológica para reúso em irrigação visam principalmente à preservação da saúde do usuário e/ou consumidor. Dessa forma, um esgoto tratado deve satisfazer requisitos de qualidade que variam de acordo com a cultura cultivada e com o nível de restrição da irrigação.

Para a Irrigação Irrestrita, ou seja, sem restrição de culturas ou métodos de irrigação, exigem-se critérios mais rigorosos de qualidade de efluentes. No caso da Irrigação Restrita, ocorre a seleção de culturas ou a restrição de métodos de irrigação, considerando-se o uso de efluentes de qualidade inferior de tratamento. (BERNARDI, 2003).

Atualmente, existem duas principais linhas de critérios de qualidade microbiológica adotadas pelos países de acordo com os níveis de restrição estabelecidos. As diretrizes mais restritivas são do estado da Califórnia nos Estados Unidos que possuem o critério de risco zero para a população, estabelecendo padrões microbiológicos próximos aos de água para consumo humano. Alguns países que seguem os critérios californianos são Israel, Oman e alguns outros estados dos EUA.

A **Tabela 3.1** apresenta os critérios de recuperação das águas do estado da Califórnia, os quais consideram os padrões de qualidade da água, os processos de tratamento requeridos, os requisitos operacionais e os critérios de avaliação de confiabilidade no tratamento.

Tabela 3.1 – Critérios da Califórnia para Tratamento e Reúso das Águas Residuárias.

Tipo de Uso	Limite para CTer (CTer/100mL)	Tratamento Requerido
Cultivo de forrageiras, plantas fibrosas e grãos, irrigação superficial de árvores frutíferas e parreiras.	-	Primário
Pasto para animais leiteiros, Represamentos Paisagísticos. Irrigação Paisagística (campos de golfe, cemitérios).	23 CTer/100mL	Oxidação e Desinfecção
Irrigação superficial de culturas alimentícias ^(a). Represamentos Recreacionais Restritos.	2.2 CTer/100mL	Oxidação e Desinfecção
Irrigação (aspersão) de culturas alimentícias ^(a). Irrigação Paisagística (parques)	2.2 CTer/100mL	Oxidação, Coagulação, Clarificação, Filtração ^(b) e Desinfecção
Represamentos recreacionais não restritos	Não constam limites no original	-

Fonte: Crook (1993).

- a) Podem ser feitas exceções nos requisitos para culturas que serão processadas industrialmente.
- b) A turbidez do efluente filtrado não pode exceder uma média de duas unidades de turbidez durante qualquer período de 24 horas.

Percebe-se que o grau de tratamento requerido e a qualidade microbiológica aumentam na medida em que seja mais provável o contato humano com a água para reúso. O tratamento mais completo composto por Oxidação, Coagulação, Clarificação, Filtração e

Desinfecção visa produzir um efluente livre de patógenos, garantindo também, proteção virótica.

Entretanto, devido aos elevados custos de tratamento e as dificuldades de fiscalizar e regulamentar critérios tão restritivos, diversos países adotam os critérios estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde os quais se mostram menos restritivos e conseqüentemente, mais realísticos de serem implantados em países em desenvolvimento. Alguns países que seguem as diretrizes da OMS são o Brasil, a Tunísia, a França e o México.

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (USEPA), em 1992, publicou recomendações e orientações para a prática de reúso agrícola (**Tabela 3.2**), embora, as regulamentações que existem nos EUA foram desenvolvidas em âmbito estadual, como nos estados da Califórnia, Flórida e Arizona.

Tabela 3.2 – Critérios de Qualidade Microbiológica Recomendada pela USEPA, em 1992, para a utilização de Águas Residuárias na Agricultura.

Tipo de Irrigação e Cultura	Processo de Tratamento	Qualidade do Efluente
Culturas Alimentícias não processadas comercialmente. ⁽¹⁾ Irrigação Superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.	Secundário + Filtração + Desinfecção	DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2 UNT ⁽²⁾ Cloro Residual ≥ 1 mg/L ⁽³⁾ Coliformes termotolerantes ND Organismos Patogênicos ND
Culturas Alimentícias processadas comercialmente. ⁽¹⁾ Irrigação Superficial de Pomares e Vinhedos.	Secundário + Desinfecção ⁽⁴⁾	DBO ≤ 30 mg/L SS ≤ 30 mg/L Cloro Residual ≥ 1 mg/L ⁽³⁾ Coliformes Termotolerantes ≤ 200/100 mL ⁽⁴⁾
Culturas não alimentícias. Pastagens para rebanhos de leite ⁽⁵⁾, forrageiras, cereais, fibras e grãos.	Secundário + Desinfecção	DBO ≤ 30 mg/L SS ≤ 30 mg/L Cloro Residual ≥ 1 mg/L Coliformes termotolerantes ≤ 200/100 mL
Irrigação de campos de esporte, parques, jardins e cemitérios.	Secundário + Filtração + Desinfecção	DBO ≤ 10 mg/L Turbidez ≤ 2 UNT ⁽²⁾ Cloro Residual ≥ 1 mg/L ⁽³⁾ Coliformes termotolerantes ND Organismos Patogênicos ND

Fonte: Mota *et al.* (2007).

1. Culturas alimentícias processadas comercialmente são aquelas que recebem processamento físico ou químico, prévio à comercialização, suficiente para destruição de patógenos.
2. Turbidez pré-desinfecção, média diária; nenhuma amostra > 5 UNT.
3. Cloro residual livre após tempo de contato mínimo de 30 minutos; residuais ou tempo de contato mais elevados podem ser necessários para a garantia de inativação de vírus e parasitas.
4. Média móvel de sete dias; nenhuma amostra > 800 CTer/100 mL; lagoas de estabilização podem alcançar o critério de qualidade sem a necessidade de desinfecção.

5. O consumo de culturas irrigadas não deve ser permitido antes de 15 dias após a irrigação; desinfecção mais rigorosa (≤ 14 CTer/100 mL) se o período de 15 dias não for observado.

A **Tabela 3.3**, apresenta que vários países e regiões adotam diferentes padrões de qualidade microbiológica para reúso de esgoto tratado na irrigação, principalmente, com o objetivo de evitar problemas de saúde possivelmente advindos dessa prática.

Tabela 3.3 – Exemplos de Padrões Globais de Qualidade da Água para Irrigação de Culturas Não-Alimentares.

Normas Microbiológicas ou Orientações por Estado, País, Região.	Coliformes Totais (CT/100mL)	Coliformes termotolerantes ou <i>E.coli</i> por 100mL
Apúlia (Itália)	≤ 10	-
Califórnia, Italy	≤ 23	-
Austrália	-	≤ 10
Alemanha	≤ 100	≤ 10
Estado de Washington	≤ 240	-
Florida, Utah, Texas, USEPA	-	≤ 200
Arizona, Novo México, Austrália, Victoria, México	-	≤ 1.000
Áustria	-	≤ 2.000
Sicília	≤ 3.000	≤ 1.000
Chipre	-	≤ 3.000
Grécia, Espanha	-	≤ 10.000

Fonte: USEPA (2012).

No Brasil, os padrões comumente adotados são da Organização Mundial da Saúde e diretrizes nacionais, como as estabelecidas pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), a NBR 13.969 de 1997 e limites estaduais definidos pelos Órgãos Estaduais e/ou Municipais de Meio Ambiente.

A Organização Mundial da Saúde, em 1989, definiu parâmetros de qualidade microbiológica para reúso de águas residuárias em modalidades de irrigação, conforme pode ser observado na **Tabela 3.4**, considerando o número de ovos de helmintos por unidade de volume e a concentração de coliformes termotolerantes.

Essas orientações são baseadas na conclusão pela OMS que os riscos à saúde humana nos países em desenvolvimento são devidos a doenças provocadas por helmintos. Dessa forma, uma alta remoção de helmintos deve ser um critério de projetos de ETEs, ficando subentendido que todos os ovos de helmintos e cistos de protozoários serão removidos com igual eficácia.

Tabela 3.4 – Recomendações da OMS Relativas à Qualidade Microbiológica para o Uso Agrícola de Efluentes de ETE.

Categoria	Condições de Reúso	Grupos Expostos	Técnica de Irrigação	Ovos de Helmintos⁽¹⁾ ₍₂₎	Coliformes Termotolerantes⁽³⁾	Sistema de Tratamento Recomendado para atingir a Qualidade Microbiológica
A	Campos Esportivos, parques públicos.	Trabalhador, Público	Qualquer	$\leq 0,1$	≤ 200	Tratamento Secundário Convencional + Lagoa de Maturação ou Tratamento Secundário Convencional + Filtração e Desinfecção.
B	Cereais, cultura a ser industrializada, silvicultura ⁽⁴⁾ , forrageira para feno e silagem ⁽⁵⁾ .	Trabalhadores (exceto crianças menores de 15 anos), comunidades vizinhas.	Aspersão	$\leq 1,0$	$\leq 10^5$	
		Trabalhadores (exceto crianças menores de 15 anos), comunidades vizinhas.	Inundação/Leira	$\leq 1,0$	$\leq 10^3$	
		Trabalhadores incluindo crianças menores de 15 anos, comunidades vizinhas.	Qualquer	$\leq 0,1$	$\leq 10^3$	
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B se não ocorrer exposição de trabalhadores e público.	Nenhum	Gotejamento, Microaspersão	$\leq 1,0$	$\leq 10^3$	

Fonte: Dominato (2011) *apud* OMS (2000).

1. Ascaris, Trichuris, Nacator americans, Ancilostumos duodenalis. Esse valor também tem a intenção de proteger contra riscos de protozoários.
2. Média aritmética do n° de ovos por Litro durante o período de irrigação.
3. Média geométrica do n° por 100mL durante o período de irrigação.
4. No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem colhidos, e frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada.
5. Irrigação de plantas forrageiras não será permitida para pastejo direto.

A OMS indica as Lagoas de Estabilização como uma técnica de tratamento de esgoto eficiente para remoção de patógenos, indicando sua utilização em locais de clima quente e com área disponível.

A qualidade microbiológica pode ser alcançada com um sistema de lagoas em série, desde que em condições operacionais adequadas. Dependendo das características do afluente, torna-se necessário um tratamento terciário para se atingir os padrões desejados.

O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) também formulou diretrizes para o uso de esgotos sanitários em agricultura, recomendando critérios para Irrigação Irrestrita e Restrita, apresentadas na **Tabela 3.5**.

Esse padrão de qualidade de efluentes expresso em Coliformes Termotolerantes e Ovos de Helmintos aplicam-se a sistemas de tratamento por lagoas, sendo a remoção de cistos de protozoários indicada pela remoção de ovos de helmintos.

O PROSAB recomenda que se a filtração for utilizada como técnica terciária a turbidez deve ser um parâmetro indicador de remoção de protozoários, a qual deve estar abaixo de 5 uT.

Somando-se as recomendações, os sistemas que incluam desinfecção devem observar os parâmetros de controle de desinfecção, como tempo de contato e residual desinfetante, para o alcance dos padrões desejáveis para coliformes termotolerantes.

Tabela 3.5 – Diretrizes do PROSAB para o Uso Agrícola de Esgotos Sanitários.

Categoria	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL) ⁽³⁾	Ovos de Helmintos (ovo/L) ⁽⁴⁾	Observações
Irrigação Irrestrita ⁽¹⁾ ⁽⁷⁾	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^4$ CTer 100 mL ⁻¹ no caso de irrigação por gotejamento de culturas que se desenvolvem distantes do nível do solo ou técnicas hidropônicas em que o contato com a parte comestível da planta seja minimizada.
Irrigação Restrita ⁽²⁾	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1	$\leq 1 \times 10^5$ CTer 100 mL ⁻¹ no caso de existência de barreiras adicionais de proteção do trabalhador ⁽⁵⁾ . É facultado o uso de efluentes (primários e secundários) de técnicas de tratamento com reduzida capacidade de remoção de patógenos, desde que associado à irrigação subsuperficial ⁽⁶⁾ .

Fonte: Mota *et al.* (2007).

1. Irrigação Superficial ou por aspersão de qualquer cultura, inclusive culturas alimentícias consumidas cruas. Inclui também a hidroponia.
2. Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura não ingerida crua, inclui culturas alimentícias e não alimentícias, forrageiras, pastagens e árvores. Inclui também a hidroponia.
3. Coliformes Termotolerantes (CTer): média geométrica durante o período de irrigação, alternativa e preferencialmente pode-se determinar E. coli.
4. Nematoides intestinais humanos; média aritmética durante o período de irrigação.
5. Barreiras adicionais de proteção encontradas em agricultura de elevado nível tecnológico, incluindo o emprego de irrigação localizada e equipamentos de proteção individual. Exclui-se dessa nota a irrigação de pastagens e forrageiras destinadas à alimentação animal.
6. Neste caso não se aplicam os limites estipulados de coliformes e ovos de helmintos, sendo a qualidade do efluente consequência das técnicas de tratamento empregadas.
7. Em casos de irrigação irrestrita recomenda-se um padrão de turbidez < 5 uT.

Também existe em nível nacional a NBR 13.969/97 da ABNT “Tanques Sépticos” – Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos – Projeto, Construção e Operação, a qual orienta que a prática de reúso de esgotos tratados seja bem planejada, definindo para isso, os usos previstos para o esgoto tratado, o volume de reúso, o grau de tratamento necessário, o sistema de reservação e distribuição e orientações para operação do sistema. A **Tabela 3.6** apresenta s diretrizes dessa NBR para a prática de reúso de efluentes tratados.

Tabela 3.6 – Diretrizes da NBR 13.969/97 para Reúso de Efluentes Tratados.

Classes	Parâmetros	Tratamento/Comentários
Classe 1 - Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	Turbidez < 5UNT CTer < 200 NMP/100mL SDT < 200 mg/L pH entre 6,0 e 8,0 Cloro Residual entre 0,5 a 1,5 mg/L	Filtro Aeróbio Submerso + Filtração Convencional ou Membrana Filtrante + Cloração
Classe 2 - Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins , manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.	Turbidez < 5UNT Coliforme Termotolerantes < 500 NMP/100mL Cloro Residual > 0,5 mg/L	Filtro Aeróbio Submerso + Filtração de Areia ou Membrana Filtrante + Desinfecção
Classe 3 - Reúso nas descargas de bacias sanitárias.	Turbidez < 10UNT Coliforme Termotolerantes < 500 NMP/100mL	Se necessário, Cloração.
Classe 4 - Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gado e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.	CTer < 5.000 NMP/100mL Oxigênio Dissolvido > 2 mg/L	As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

Fonte: Adaptado de Fernandes (2006) *apud* ABNT – NBR 13.969 (1997).

Em nível estadual, o Ceará por meio da Portaria nº 154, de 22 de Julho de 2002, da SEMACE (Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará), estabelece padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras.

Em seu Artigo 6º define que a reutilização de efluentes de origem doméstica em atividades agrônomicas (irrigação e drenagem, dessedentação de animais e aquicultura) deve obedecer aos seguintes limites expressos na **Tabela 3.7**.

Dentre as legislações estaduais brasileiras sobre Padrões de Lançamento de Efluentes, apenas a legislação do estado do Ceará contempla critérios de reúso de efluentes domésticos tratados, devido ao reconhecimento por parte do órgão ambiental local da importância da prática do reúso e da necessidade do estado em frente da histórica crise hídrica por ele enfrentada.

Tabela 3.7 – Padrões SEMACE para a Reutilização de Efluentes Domésticos em Atividades Agronômicas.

Atividade Tipo 1: Irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais aquicultura.		
Parâmetros	Unidades	Limites
Coliformes Termotolerantes	CTer/100mL	1000
Ovos de Geohelminhos	Ovo/L	1
Condutividade Elétrica	µS/cm	3000
Atividade Tipo 2: Outras atividades		
Parâmetros	Unidades	Limites
Coliformes Termotolerantes	CTer/100mL	5000
Ovos de Geohelminhos	Ovo/L	1
Condutividade Elétrica	µS/cm	3000

Fonte: SEMACE (2002).

3.1.3. Qualidade Físico-Química Das Águas De Reúso Para Irrigação

Os critérios de qualidade físico-química para reúso em irrigação visam principalmente à preservação da qualidade do solo, das culturas irrigadas e dos recursos hídricos. Em vista aos possíveis problemas que podem ser originados dessa prática são comumente analisados e verificados alguns parâmetros, como matéria orgânica, pH, macronutrientes, micronutrientes, condutividade elétrica (CE) e a razão de adsorção de sódio (RAS), os quais são os principais intervenientes que acarretam alterações da qualidade do meio ambiente.

Consoante Feigin *et al* (1991), citado por Mota *et al* (2007), os principais problemas relacionados com o uso de esgotos tratados em irrigação sobre o meio ambiente, principalmente sobre as plantas e o solo, são:

- a) Toxidade: Determinados íons, como sódio, cloreto e boro, são tóxicos, quando em concentrações excessivas, pois podem se acumular nos vegetais e causar danos, como a redução da produtividade.
- b) Salinidade: Os sais podem se acumular na zona das raízes das plantas, aumentando a pressão osmótica do solo e tornando a água menos disponível para as plantas, reduzindo o rendimento das culturas.
- c) Sodicidade: Está relacionada à permeabilidade dos solos, sendo influenciada, principalmente, pelos íons de sódio e cálcio, que dependendo de suas concentrações podem diminuir a velocidade com que a água de irrigação

atravessa a superfície do solo, reduzindo a disponibilidade de água para as plantas.

3.1.3.1. *pH*

O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente e relaciona-se com outros parâmetros, como a dureza, a concentração de carbonato (CO_3^-) e bicarbonato (HCO_3^-).

Uma elevada dureza na água de irrigação relacionada com valores de pH acima de 7,5 pode ocasionar precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio, obstruindo o sistema de irrigação. Elevados valores de pH também podem ocasionar a precipitação de íons Ca^+ , aumentando o efeito do Na^+ no solo e reduzindo a permeabilidade.

Segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005, para irrigação irrestrita com águas doces uma faixa aceitável de pH está entre 6,0 a 9,0 e no caso de águas salobras 6,5 a 8,5. Para a prática de reúso em irrigação agrícola com esgotos tratados, uma faixa comum de pH recomendada na literatura é 6,5 a 8,4.

3.1.3.2. *Matéria Orgânica*

A irrigação com esgotos tratados, em geral, traz benefícios ao solo por meio da oferta de matéria orgânica. Essa pode agregar-se as partículas do solo, tornando-o mais resistente contra processos erosivos.

Entretanto, conforme Bastos (2003), o carbono orgânico pode induzir a desnitrificação, ocasionando a perda de nitrato que seria utilizado como fonte de nitrogênio pelas plantas. Dessa forma, é importante que esse aspecto seja controlado e monitorado.

Segundo Ucker (2013), citando Hespanhol (2002), o valor de DBO para fins agrícolas deve ser no máximo 100 mg/L, recomendando para maior aceitação pelo usuário que esse valor seja de até 30 mg/L para irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para plantas consumidas cruas.

Outro fator a ser considerado são os custos do tratamento para elevadas restrições de concentração de DBO. Limites muito restritivos podem inviabilizar o projeto de reúso. A **Tabela 3.8** apresenta limites de DBO adotados por várias regiões.

Tabela 3.8 – Limites de DBO Adotados por Diversos Países e Regiões.

Local	Limite de DBO	Finalidade
USEPA	≤ 10 mg/L	Irrigação Superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas.
	≤ 30 mg/L	Irrigação Superficial de Pomares e Vinhedos.
	≤ 30 mg/L	Irrigação de culturas não alimentícias. Pastagens para rebanhos de leite, forrageiras, cereais, fibras e grãos.
	≤ 10 mg/L	Irrigação de campos de esporte, parques, jardins e cemitérios.
Flórida (EUA)	≤ 20 mg/L	Irrigação de áreas acessíveis à população, como gramados residenciais.
Israel	≤ 60 mg/L	Irrigação de forrageiras.
China	≤ 80 mg/L	Irrigação de arroz e vegetais.

Fonte: Mota *et al.* (2007) e Crook (1993).

3.1.3.3. Toxicidade

Algumas plantas são suscetíveis à toxicidade de certos íons, dentre eles, o cloreto, o sódio, o bicarbonato e sulfato.

Os cloretos estão presentes em praticamente todas as águas e não são necessários ao crescimento e desenvolvimento das plantas, e quando em concentrações excessivas, provocam anormalidade na estrutura das plantas e queima das folhas. Isso ocorre devido ao solo não absorver o cloreto, o qual é absorvido pelas raízes das plantas e acumulado nas folhas.

Em irrigação por aspersão, mesmo em concentrações baixas, o cloreto pode danificar as folhas devido à adsorção. De acordo com Ayers & Westcott (1991), teores de 142 mg/L de cloretos na água de irrigação não acarretam nenhum efeito prejudicial às culturas. Acima desse valor danos já podem ser mais prováveis e acima de 355 mg/L problemas graves devem acometer as plantas.

O sódio em excesso pode ser prejudicial aos solos argilosos ao provocar a dispersão de minerais de argila em partículas finas, acarretando na obstrução dos poros do solo e, conseqüentemente, na diminuição da permeabilidade. Isso ocorre devido ao movimento descendente das partículas de argila ao longo do perfil do solo, gerando um acúmulo de argila em profundidade que dificulta o fluxo vertical da água. Indica-se para irrigação por aspersão valores abaixo de 70 mg/L.

Também é importante considerar as concentrações de bicarbonato (HCO_3^-), pois pode interferir na qualidade das culturas ao gerar manchas brancas nas folhas e nos frutos.

Outro importante composto a ser observado é o sulfato, o qual, de acordo com Ayers & Westcott (1985), são prejudiciais as plantas e ao solo quando em concentrações acima de 960 mg/L.

Um resumo dessas informações é apresentado na Tabela 3.9, a qual contém as recomendações da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO – (1994) para a avaliação da qualidade da água para irrigação.

Tabela 3.9 – Diretrizes para Avaliar a Qualidade da Água para Irrigação.

Parâmetros	Unidades	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Ligeira e Moderada	Severa
Toxidade de Íons Específicos				
Boro (B^{3+})	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Bicarbonato (HCO_3^-)	mg/L	< 90	90-250	> 250
Carbonato (CO_3^{2-})	mg/L	< 3	3 – 6	> 6
Cloro Residual	mg/L	< 1,0	1,0-5,0	> 5,0
Sulfato (SO_4^{2-})	mg/L	< 480	480 – 1440	> 1440
Cloro (Cl^-)				
Irrigação por Superfície	mg/L	< 142	142 – 355	> 355
Irrigação por Aspersão	mg/L	< 106	> 106	
Sódio (Na^+)				
Irrigação por Superfície	RAS	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Irrigação por Aspersão	mg/L	< 70	70 – 180	> 200

Fonte: Adaptado de Mota *et al.* (2007) *apud* FAO (1994).

3.1.3.4. Macronutrientes

Os Macronutrientes presentes nos esgotos também devem ser monitorados, pois apesar de seus efeitos positivos, em concentrações elevadas podem provocar impactos adversos. Os principais macronutrientes a serem observados são o nitrogênio, o fósforo, o potássio, o cálcio, o magnésio, o sódio e o enxofre.

Segundo Paganini (1997), citado por Mota *et al.* (2007), o nitrogênio é um elemento extremamente importante na síntese de proteínas pelas plantas e pode vir a ser um fator limitante na produção de alimentos.

Em irrigação com águas residuárias, geralmente, as concentrações de nitrogênio são aceitáveis, mas em elevadas concentrações pode estimular o crescimento excessivo da vegetação em detrimento dos frutos, dificultando a maturidade e reduzindo os níveis de açúcar das culturas alimentícias, provocando colheitas de baixa qualidade.

Outro parâmetro importante é a amônia. Essa geralmente encontrada em altas concentrações nos esgotos devido à conversão biológica de proteínas e ureia em amônia, a qual pode ser transformada em nitrato e nitrito por meio do processo de nitrificação.

De acordo com Ayers & Westcott (1991), valores indicados para amônia em águas de irrigação compreendem a faixa de 0 a 5 mg/L e, segundo Mota et al. (2007), indica que valores normais de nitrato variam de 0 a 10 mg/L.

Também se faz necessário considerar as concentrações de fósforo. Este fornece benefícios às plantas, sendo essencial para o crescimento e reprodução das plantas, além de possuir várias funções metabólicas. Os efluentes domésticos costumam apresentar elevadas taxas de fósforo devido ao uso de detergentes e a presença de alimentos. Contudo, esse valor pode ser compensado com a diminuição das concentrações desse nutriente nos adubos.

Entretanto, quando em excesso, pode provocar o aumento da precipitação de Ca^{2+} e, conseqüentemente, elevando a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e riscos quanto à salinidade. Concentrações normais encontram-se entre 0 a 2 mg/L. A Tabela 3.10 apresenta o grau de restrição de uso para as concentrações de alguns macronutrientes em águas de irrigação.

Tabela 3.10 – Grau de Restrição de Uso de Macronutrientes em Águas de Irrigação.

Parâmetros	Unidades	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Ligeira e Moderada	Severa
Efeitos na Qualidade				
Amônia (NH₃)	mg/L	0 - 5		> 5
Cálcio (Ca)	mg/L	< 100	100 – 200	> 200
Ca/Mg	-	> 1		< 1
Ca + Mg	mg/L	< 161	161 – 483	> 483
Magnésio (Mg)	mg/L	< 63	> 63	
Fosforo (P)	mg/L	0 – 2		> 2
Nitrato (NO₃)	mg/L	0 - 10		> 10
Nitrogênio (N)	mg/L	< 5	5-30	> 30

Fonte: Mota et al. (2007), Nuvolari et al. (2003).

3.1.3.5. Micronutrientes

Os metais pesados podem ser tóxicos as plantas e aos animais, contudo, comumente, as águas residuárias apresentam baixas concentrações desses elementos. Dependendo dos processos industriais esses valores podem se elevar e requerer um tratamento específico para sua remoção. A **Tabela 3.11** apresenta as concentrações máximas recomendadas de alguns elementos; bem como seus efeitos adversos sobre o meio ambiente.

Tabela 3.11 – Concentração Máxima de Elementos Químicos em Águas para Irrigação.

Elemento	C _{máx} Recomendada (mg/L)		Observações
	⁽¹⁾ Longo Prazo	⁽²⁾ Curto Prazo	
Alumínio	5,0	20,0	Pode causar improdutividade em solos ácidos (pH < 5,5), mas em solos mais alcalinos (pH > 5,5) precipitarão o íon e eliminarão qualquer toxicidade.
Arsênio	0,10	2,0	A toxicidade para plantas varia amplamente situando-se entre 12 mg/L para pastagem até 0,5 mg/L para arroz.
Berílio	0,10	0,5	Toxicidade para as plantas varia amplamente, variando de 5 mg / L para a couve de 0,5 mg / L para feijões.
Boro	0,75	2,0	Essencial para o crescimento das plantas. Tóxico para as plantas sensíveis. A maioria das gramíneas é tolerantes a 2,0-10 mg / L.
Cádmio	0,01	0,05	Tóxico para feijão, beterraba e nabo, em concentrações tão pequenas quanto 0,1 mg/L em solução nutriente. Limites conservativos são recomendados devido ao efeito cumulativo em plantas e no solo, para concentrações que possam ser nocivas aos humanos.
Chumbo	5,0	10,0	Em altas concentrações pode inibir o crescimento das células vegetais.
Cobalto	0,05	5,0	Tóxico para plantações de tomate em concentrações maiores que 0,1 mg/L em solução com nutrientes. Sua toxicidade tende a ser anulada em solos neutros ou alcalinos.
Cobre	0,20	5,0	Tóxico para várias plantas em concentrações variando de 0,1 mg/L até 1,0 mg/L em solução nutriente.
Cromo	0,10	1,0	Limites conservativos são recomendados devido à ausência de conhecimento de sua toxicidade em plantas.
Ferro	5,0	20,0	Não é tóxico em solos aerados, mas podem contribuir para a acidificação do solo e perda de fósforo e molibdênio.
Fluoreto	1,0	15,0	Inativado por solos neutros e alcalinos.
Lítio	2,5	2,5	Tolerado pela maioria das culturas, mas para algumas culturas baixos valores já são considerados tóxicos.
Manganês	0,20	10,0	Tóxico para várias plantações a partir de pequenas concentrações, mas usualmente em solos ácidos.
Molibdênio	0,01	0,05	Pode ser tóxico para o gado se a forragem for plantada em solo com altos níveis de molibdênio.
Níquel	0,20	2,0	Tóxico para várias plantas em concentrações de 0,5 mg/L a 1,0 mg/L, tendo sua toxicidade reduzida para pH alcalino ou neutro.
Selênio	0,02	0,02	Tóxico para as plantas em baixas concentrações e para o gado se a forragem é cultivada em solos com baixos níveis de selênio.
Vanádio	0,10	1,0	Tóxico para muitas plantas em concentrações relativamente baixas.
Zinco	2,0	10,0	Tóxico para algumas plantas em várias concentrações; toxicidade reduzida para pH > 6,0 e em solos com fina textura ou considerados orgânicos.

Fonte: Adaptado de USEPA (2012).

3.1.3.6. Salinidade e Sodicidade

A salinidade é um critério que deve ser analisado na prática de reúso de águas residuárias na irrigação, pois, comumente, os teores de sais são mais elevados comparados à

água doce. Altas taxas de salinidade podem aumentar a pressão osmótica do solo e dificultar a absorção de água pelas plantas, diminuindo o rendimento da cultura.

Geralmente, o teor de sais na água para irrigação é expressa em relação à Condutividade Elétrica (CE) que é a capacidade de condução de corrente elétrica na água. Relaciona-se com a concentração de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e cresce com o aumento da temperatura.

A **Tabela 3.12** apresenta a classificação das águas de irrigação de acordo com a salinidade, tendo como critérios a relação da condutividade com os sólidos dissolvidos. Segundo Mota *et al.* (2007), citando Reichardt (1990), o risco de salinidade é baixo quando a CE for menor que 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e médio quando variar de 750 a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O grau de restrição para uso é mostrado na **Tabela 3.13**, e orienta que a CE esteja abaixo de 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e a concentração de SDT menor que 450 mg/L para não causar riscos ao solo.

Tabela 3.12 – Classes de Salinidade para Águas de Irrigação.

Classe	Salinidade	SDT (mg/L)	Condutividade (dS/m)
1	Baixa	0 - 175	0 – 0,3
2	Média	125 – 500	0,3 – 0,8
3	Alta	500 – 1.500	0,8 – 2,3
4	Muita Alta	1.500 – 3.500	2,3 – 5,5
5	Extremamente Alta	> 3.500	> 5,5

Fonte: Dominato (2011) *apud* USEPA – Austrália (1991).

Tabela 3.13 – Graus de Restrição para Uso de Acordo com o Critério de Salinidade.

Parâmetros	Unidades	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Ligeira e Moderada	Severa
Salinidade				
CE	$\mu\text{S}/\text{m}$	< 750	750 – 1500	> 1500
SDT	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000

Fonte: Adaptado de Mota *et al.* (2011).

A sodicidade refere-se à quantidade de íons de sódio nas águas de irrigação e relaciona-se com as concentrações de cálcio e magnésio. Concentrações elevadas de sódio podem ocasionar a diminuição da permeabilidade do solo e trazendo, assim, riscos as culturas. O sódio pode provocar também a desfloculação da argila, gerando partículas finas que colmatam os poros do solo.

A sodicidade é medida pela Razão de Adsorção de Sódio (RAS) que considera o excesso de sódio em relação ao cálcio e o magnésio. O cálcio contribui para a estabilidade dos agregados do solo e ameniza os efeitos adversos do sódio. A literatura recomenda que o cálcio

e o magnésio estejam em concentrações equilibradas e tenham uma razão acima de uma unidade ($Ca/Mg > 1$). A relação utilizada para o cálculo da RAS é apresentada pela **Equação 3.1** e a **Tabela 3.14** mostra o grau de restrição de uso para desses parâmetros para a irrigação.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}} \quad \text{Equação 3.1}$$

Tabela 3.14 – Grau de Restrição de Uso para a RAS e a CE em Águas de Irrigação.

RAS	Grau de Restrição para Uso		
	Nenhuma	Leve a Moderado	Severo
Condutividade Elétrica (dS m ⁻¹)			
0 a 3	> 0,7	0,7 a 0,2	< 0,2
3 a 6	> 1,2	1,2 a 0,3	< 0,3
6 a 12	> 1,9	1,9 a 0,5	< 0,5
12 a 20	> 2,9	2,9 a 1,3	< 1,3
20 a 40	> 5,0	5,0 a 2,9	< 2,9

Fonte: Dominato (2011) *apud* FAO (1994).

O Departamento de Agricultura Norte-Americano desenvolveu um diagrama que estabelece o risco devido à salinidade e classifica as águas para irrigação, considerando a RAS e o teor de sais estimado pela CE, classificando esses parâmetros da seguinte maneira: (**Figura 3.1**).

Condutividade

- Valores até 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – o efluente é classificado como C1;
 - De 251 a 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – o efluente é classificado como C2;
 - De 751 a 2.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – o efluente é classificado como C3;
 - De 2.251 a 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ – o efluente é classificado como C4;
 - Valores superiores a 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ é C5.
-
- C0: Águas de muito baixa salinidade, que podem ser utilizadas sem restrição para a irrigação.
 - C1: Águas de baixa salinidade, condutividade elétrica compreendida entre 100 e 250 mhos/cm a 25°C (sólidos dissolvidos: 64 a 160 mg/L). Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes quanto à salinização do solo, salvo se a permeabilidade deste for extremamente baixa.

- C2: Águas de salinidade média, condutividade compreendida entre 250 e 750 mhos/cm a 25 °C (sólidos dissolvidos: 160 a 480 mg/L). Devem ser usadas com precaução e de preferência em solos silto arenosos, siltosos ou areno argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, na maioria dos casos, sem perigo.
- C3: Águas de alta salinidade, condutividade compreendida entre 750 e 2.250 mhos/cm a 25 °C (sólidos dissolvidos: 480 a 1440 mg/L). Só podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo quando o solo é bem cuidado, devem ser tomadas precauções especiais de luta contra a salinização e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados.
- C4: Águas de salinidade muito alta, condutividade compreendida entre 2.250 e 5.000 mhos/cm a 25 °C (sólidos dissolvidos: 1.440 a 3.200 mg/L). Geralmente não servem para irrigação, todavia podem ser excepcionalmente utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados.
- C5: Águas de salinidade extremamente alta, condutividade compreendida entre 5.000 e 20.000 mhos/cm a 25 °C (sólidos dissolvidos: 3.200 a 12.800 mg/L). São águas utilizadas apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados, salvo exceções, unicamente para palmeiras, sobretudo com condutividade acima de 10000 mhos/cm a 25°C.

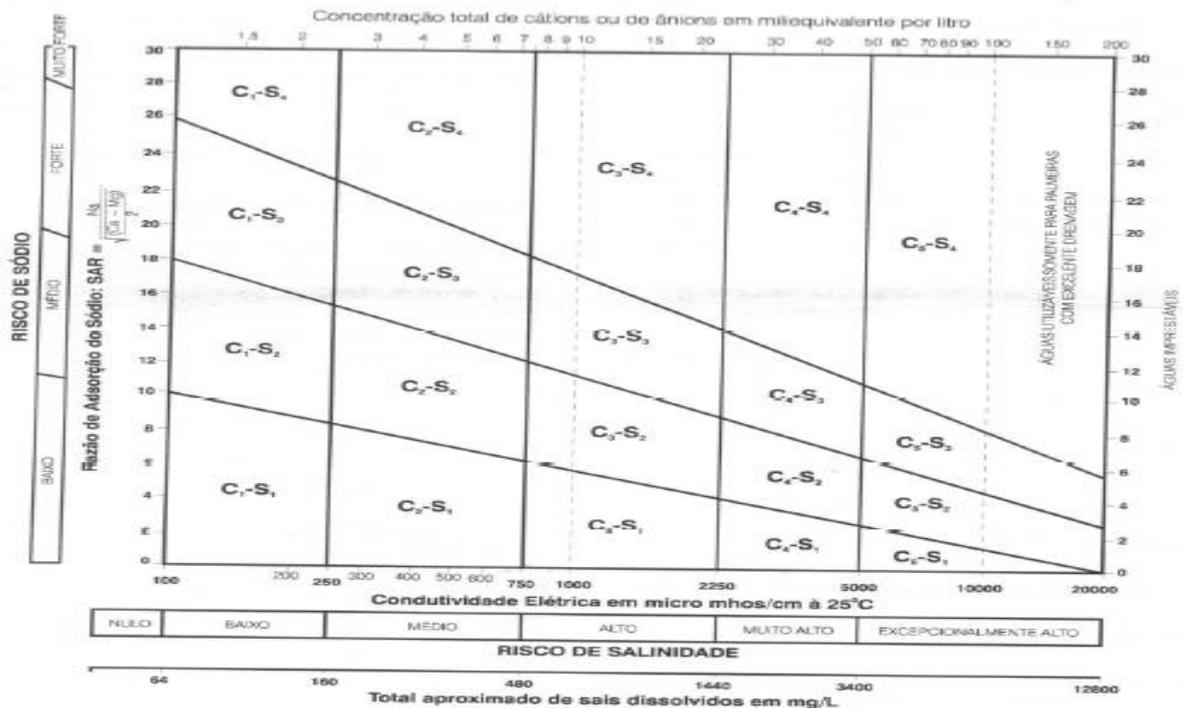
Sodicidade

- Valores podem variar de 0 a 30, quanto maior for o valor maior é o grau de sodicidade.
- S1: Águas fracamente sódicas, podem ser utilizadas para quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Prestam-se ao cultivo de quase todos os vegetais.
- S2: Águas mediamente sódicas, apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou riscos em matéria orgânica e com boa permeabilidade.
- S3: Águas altamente sódicas. Há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo nos solos gipsíferos. Exigem tratamento

especial do solo (boa drenagem, lixiviação e presença de matéria orgânica) e podem ser utilizadas em vegetais com alta tolerância ao sódio.

- S4: Águas extremamente sódicas, geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global é fraca ou pelo menos média. Podem ser aplicadas em solos altamente drenáveis ricos em carbonatos.

Figura 3.1 – Diagrama de Classificação do Efluente quanto a Salinidade e Sodicidade.



Fonte: Dominato (2011) *apud* CETESB (2005).

3.1.4. Componentes Que Interferem Na Qualidade Do Sistema De Irrigação

Apesar das vantagens da implantação de sistemas de irrigação com a utilização de esgotos tratados é necessário monitorar alguns parâmetros que podem acarretar problemas aos sistemas de irrigação.

Os principais fatores que podem acarretar problemas em sistemas de irrigação são os componentes químicos, pois estes estão relacionados às obstruções físicas das tubulações e emissores devido a alguns íons sofrerem reações de precipitação ou oxidação, depositando partículas e contribuindo para a diminuição da vida útil dos componentes do sistema.

Conforme Mendonça (2003), para o bom funcionamento de sistemas de irrigação com reúso de águas, os seguintes parâmetros devem ser considerados:

- a) Sólidos Suspensos: podem formar agregados e provocar o entupimento dos tubos de distribuição e emissores (aspersores ou gotejadores).
- b) Sais Inorgânicos: podem acarretar corrosões e desgastes das partes metálicas do sistema; bem como provocar entupimentos.
- c) Microrganismos: podem estar presentes no efluente ou serem formados nas tubulações, como algas, bactérias filamentosas e ferrobactérias, e podem ocasionar problemas de entupimento das tubulações e emissores.
- d) pH: pode provocar obstrução dos emissores.

O risco potencial de entupimento de emissores por componentes presentes em águas de irrigação, segundo vários autores, consta na **Tabela 3.15**.

Tabela 3.15 – Componentes que interferem na qualidade dos sistemas de irrigação.

Problemas de Obstrução em Sistemas de Irrigação			
Componentes	Risco		
	Baixo	Médio	Alto
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	< 500	500 – 2000	> 2000
Sólidos Suspensos (mg/L)	< 50	50 – 100	> 100
Manganês (mg/L)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro Total (mg/L)	< 0,2	0,2 – 1,5	> 1,5
Dureza (mg/L)	< 150	150 – 300	> 300
Ácido Sulfúrico (mg/L)	< 0,5	0,5 – 2,0	> 1,5
Bactérias Heterotróficas (org/L)	< 10.000	10.000 – 50.000	> 50.000

Fonte: Adaptado de Nakayama (1986) e CAGECE (2010).

Um dos principais problemas na água de irrigação é o Ferro, devido a sua capacidade de obstruir fisicamente as tubulações e emissores dos sistemas localizados. Isso pode ocorrer pela oxidação do ferro solúvel (Fe^{2+}) em ferro insolúvel (Fe^{3+}), depositando-se nas paredes dos tubos e, conseqüentemente, aumentando a perda de carga e comprometendo o projeto de irrigação.

Uma elevada dureza na água de irrigação relacionada com valores de pH acima de 7,5, também pode provocar esse efeito adverso, por meio da precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio. Esses podem representar problemas no caso de fertirrigação, pois em elevadas concentrações podem provocar a precipitação de fertilizantes e o entupimento das tubulações.

Outro parâmetro que deve ser analisado é a concentração de sólidos em suspensão, pois esses podem dificultar a estabilização da matéria orgânica, provocando a

impermeabilização do solo. Além disso, podem colmatar os orifícios dos sistemas de irrigação.

Conforme Ucker (2013), citando Blum (2003), as águas residuárias com teores de sólidos em suspensão acima de 30 mg/L podem causar danos ao sistema de irrigação por aspersão e gotejamento, além de prejudicar o sistema de bombeamento.

Entretanto, segundo Mota *et al.* (2007), por meio das considerações de Feigin (1991), registram que uma faixa de 100 a 200 mg/L de sólidos em suspensão podem ocasionar prejuízos a sistemas de gotejamento.

A literatura existente recomenda que as técnicas de irrigação localizada, como gotejamento, irrigação subsuperficial e microaspersão sejam utilizadas em casos de sistemas de irrigação com águas de reúso, pois diminuem a dispersão de aerossóis e, conseqüentemente, diminuem a propagação de possíveis microrganismos patogênicos, não sendo recomendando a técnica de aspersão convencional.

3.2. Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos

O padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos é uma ferramenta, que juntamente com o padrão de qualidade dos corpos receptores, visa resguardar a qualidade dos mananciais. Torna-se um instrumento que facilita a fiscalização dos agentes poluidores e a detecção e autuação dos responsáveis pela degradação ambiental.

Em nível federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio de sua Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, fixando valores de concentração de parâmetros orgânicos e inorgânicos a serem obedecidos por qualquer fonte poluidora que lance seus efluentes diretamente em corpos receptores.

Essa legislação também estabelece padrões para o lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários em corpos hídricos, incluindo aqueles realizados por emissário submarino.

Além disso, flexibiliza a exigência do padrão de nitrogênio amoniacal total, proíbe a presença, nos efluentes, de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), como o DDT, os furanos, as dioxinas e a aldrina; e atribui aos órgãos ambientais estaduais e municipais definir padrões específicos para o parâmetro fósforo.

Com efeito, alguns órgãos ambientais estaduais possuem legislações próprias sobre esse assunto, tendo como base os padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 430/11, e eventualmente, estabelecendo padrões mais restritivos.

Geralmente, estão relacionadas ao processo de licenciamento ambiental e fiscalização de empreendimentos, principalmente de indústrias, e dependem da realidade de cada local, como clima, qualidade dos mananciais, vazão dos rios, sistemas de tratamento de água, nível econômico etc.

3.3. Análise de Eficiência e Confiabilidade

3.3.1. Eficiência

A eficiência na remoção de poluentes nos sistemas de lagoa de estabilização depende do tipo de tecnologia utilizada, dos detalhes construtivos e da operação e manutenção do sistema. Em relação à eficiência por tipo de tratamento, a **Tabela 3.16** traz a comparação entre os tipos de lagoas e o percentual de remoção de DBO. A **Tabela 3.17** apresenta a comparação entre sistemas de lagoas de estabilização quanto à remoção de itens específicos.

Tabela 3.16 – Comparação da eficiência de remoção de poluentes entre as lagoas de estabilização.

Tipo de Tratamento	Descrição	Eficiência
Lagoa Anaeróbia	Mais profunda e com maior volume, normalmente é usada antes das outras lagoas, para estabilizar rapidamente parte da DBO, diminuindo a área necessária para o sistema. A DBO remanescente é removida na lagoa facultativa secundária e de maturação.	50 a 70 % na remoção de DBO
Lagoa Facultativa	A DBO solúvel é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, com oxigênio fornecido pelas algas, através da fotossíntese. A DBO em suspensão tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por microrganismos existentes no fundo da lagoa.	70 a 90% na remoção de DBO
Lagoa de Maturação	O objetivo maior é a remoção de patogênicos, que se dá pela radiação solar, elevado pH e elevado oxigênio dissolvido.	70 a 90% na remoção de coliformes fecais

Fonte: Adaptado de SANTOS (2007).

Tabela 3.17 – Comparação da eficiência de remoção de poluentes entre sistemas de lagoas de estabilização.

Item	Facultativa Primária	Anaeróbia – Facultativa Secundária	Aerada Facultativa	Aerada de mistura completa – Lagoa de Decantação	Anaeróbia - facultativa - maturação
DBO	75 - 85	75 - 85	75 - 85	75 - 85	80 - 85
DQO	65 - 80	65 - 80	65 - 80	65 - 80	70 - 83
Sólidos Suspensos	70 - 80	70 - 80	70 - 80	70 - 87	73 - 83
Amônia	< 50	< 50	< 30	< 30	50 - 65
Nitrogênio Total	< 60	< 60	< 30	< 30	50 - 65
Fósforo Total	< 35	< 35	< 35	< 35	> 50
Coliformes Termotolerantes	90 - 99	90 - 99	90 - 99	90 - 99	99,9 - 99,9999

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2007).

Alguns estados brasileiros, como o Maranhão, Bahia e São Paulo, adotam uma eficiência de remoção mínima no tratamento de alguns poluentes como condicionante de descarte de efluentes em corpos hídricos.

No entanto, adotar uma eficiência mínima de remoção de poluentes não se apresenta suficiente para preservar a qualidade do corpo receptor, pois mesmo atendendo a exigência da eficiência o efluente pode estar em inconformidade com a legislação federal, apresentando poluentes em elevadas concentrações mesmo com uma alta eficiência de remoção.

3.3.2. Confiabilidade

Devido às inúmeras incertezas presentes no projeto e operação de ETEs, existem alguns riscos de falha que são inevitáveis, sendo necessário, portanto, que as ETEs sejam projetadas com base em uma medida aceitável de risco ou violação (NIKU *et al.*, 1979).

Para determinar uma concentração média que garanta que a concentração do efluente estará abaixo de certo valor, com um determinado nível de confiabilidade, Niku *et al.* (1979), avaliando o desempenho de processos de lodos ativados em 43 ETEs em operação nos Estados Unidos, desenvolveram um método que relaciona a concentração média do constituinte (valor de projeto) com os valores limites a serem cumpridos, baseando-se em análises probabilísticas (coeficientes de confiabilidade).

O valor médio de projeto (m_x) pode ser calculado a partir da **Equação 3.2**:

$$m_x = CDC \cdot X_s \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde:

m_x = concentração média do constituinte;

X_s = meta de qualidade ou padrão Fixado por alguma legislação ou norma.

CDC = coeficiente de confiabilidade

O Coeficiente de Confiabilidade é calculado a partir da **Equação 3.3**.

$$CDC = (\sqrt{CV^2 + 1}) \cdot \exp \left[-Z_{1-\alpha} \sqrt{\ln(CV^2 + 1)} \right] \quad \text{Equação 3.3}$$

Onde:

CV = coeficiente de variação (desvio padrão dividido pela média da distribuição existente).

$Z_{1-\alpha}$ = variável normal central reduzida correspondente à probabilidade de não excedência ($1-\alpha$).

De uma maneira geral, a confiabilidade de um sistema pode ser definida como a probabilidade de se conseguir, em determinadas condições, um desempenho adequado por um período específico de tempo (OLIVEIRA, 2006).

Em termos de desempenho de uma ETE, a confiabilidade pode ser entendida como a porcentagem de tempo em que se consegue cumprir os padrões de lançamento de efluentes tratados (NIKU *et al.*, 1981).

Dessa forma, se, por exemplo, um padrão de 100mg/L deve ser cumprido em 95% do tempo, o processo deve ser projetado e executado para alcançar uma concentração média efluente que este percentual seja obtido, mesmo com a variabilidade presente.

Assim, o termo está relacionado aos aspectos de falhas nos equipamentos e aos aspectos inerentes ao processo de tratamento, buscando-se avaliar o grau de confiabilidade que foi alcançado pelos sistemas, definindo o limite ou padrão que pode ser alcançado em cada processo (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2007).

Entretanto, a probabilidade de falha é extremamente sensível à função de distribuição da concentração efluente. Conhecida esta distribuição, uma expressão pode ser

utilizada para definir a fração do tempo em que uma dada concentração foi excedida no passado e, desta forma, prever o comportamento futuro de uma ETE, desde que as variáveis do processo continuem as mesmas.

Diversas análises de variáveis efluentes de ETEs têm mostrado que, para a maioria dos processos, grande parte dos constituintes pode ser modelada pela distribuição lognormal (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2007).

Estudos envolvendo análises estatísticas de desempenho de processos de tratamento e desenvolvimento de métodos e procedimentos para a introdução de conceitos de confiabilidade e estabilidade no projeto e operação de ETEs têm sido efetuados há algumas décadas em vários países e mais recentemente no Brasil.

Oliveira e Von Sperling (2007) realizaram uma análise da confiabilidade de 166 ETEs localizadas em São Paulo e Minas Gerais, considerando diversos processos de tratamento. Utilizaram a metodologia desenvolvida por Niku *et al.* (1979) para determinação de coeficientes de confiabilidade (CDC), considerando o alcance a metas de lançamento para concentrações efluentes de DBO, DQO, SST, NT, PT e CF. No Ceará, Silveira (2011) analisou o desempenho, eficiência e a confiabilidade de estações de tratamento em Fortaleza e em sua Região Metropolitana.

3.3.3. *Percentual Esperado de Atendimento a Padrões de Lançamento de Efluentes*

Para a verificação do atendimento a legislação Niku *et al.* (1979) propôs uma equação derivada da integração da função densidade de probabilidade da distribuição normal.

No entanto, devido à complexidade da equação, outros autores utilizaram relações entre a distribuição normal e lognormal para desenvolverem uma equação mais simples e fácil de ser empregada, a qual é apresentada pela **Equação 3.4**.

$$Z_{1-\alpha} = \ln X_s - \frac{\left[\ln \mu_x - \frac{1}{2} \ln(1 + CV^2) \right]}{\sqrt{\ln(1 + CV^2)}} \quad \text{Equação 3.4}$$

Onde:

μ_x = médias das concentrações efluentes.

Por meio desta, os valores correspondentes à probabilidade cumulativa da distribuição normal padronizada (distribuição Z) são encontrados. O percentual de atendimento alcançado é obtido pela área subentendida pela curva normal central reduzida que pode ser determinado pela função DIST.NORM do Excel ou encontradas em livros de estatística.

3.4. Indústria de Laticínios

O principal aspecto ambiental da indústria de laticínios é o efluente gerado, o qual pode ocasionar impactos ao meio ambiente tanto devido à quantidade quanto às suas características físico-químicas. Os principais pontos de geração de efluentes estão descritos na **Tabela 3.18**. Os efluentes líquidos gerados na indústria incluem tanto os gerados no processo industrial quanto no sanitário.

Tabela 3.18 – Operações e processos que geram efluentes na indústria de laticínios.

Operação ou processo	Descrição
Procedimentos de Higienização	<ul style="list-style-type: none"> • Enxágue para remoção de resíduos de leite ou de seus componentes, assim como de outras impurezas, que ficam aderidos em latões de leite, tanques diversos (inclusive os tanques de caminhões de coleta de leite e silos de armazenamento de leite), tubulações de leite e mangueiras de soro, bombas, equipamentos e utensílios diversos utilizados diretamente na produção; • Lavagem de pisos e paredes; • 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 por ocasião do início e interrupção de funcionamento de pasteurizados, trocadores de calor, separadores e evaporadores; • Descarte de soro e leite ácido nas tubulações de esgotamento de águas residuárias; • Descarga de sólidos de leite retido em clarificadores; • Descarte de finos oriundos da fabricação de queijos; • Descarga de produtos e materiais de embalagens perdidos nas operações de empacotamento, inclusive aqueles gerados em colapsos de equipamentos e na quebra de embalagens;
Vazamentos e Derramamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Operação e manutenção inadequadas de equipamentos e tubulações; • Transbordamento de tanques, equipamentos e utensílios diversos; • Negligência na execução de operações, o que pode causar derramamentos de líquidos e de sólidos diversos em locais de fácil acesso às tubulações de esgotamento de águas residuárias.

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

Segundo o Guia Técnico Ambiental de Produtos Lácteos da Série P+L da cartilha da CETESB, os efluentes da indústria de laticínios apresentam altos teores de óleos e graxas, e se caracterizam pela presença de sólidos suspensos, matéria orgânica expressa como DBO e DQO, e odor originado pela decomposição da caseína. O pH é praticamente neutro, mas tende a acidificar devido ao uso de ácido na limpeza e à fermentação láctea dos resíduos e sua posterior conversão em ácido láctico.

A **Tabela 3.19** apresenta valores médios de referência de alguns parâmetros presentes comumente nos efluente gerados em indústrias de laticínios.

Normalmente os efluentes apresentam os seguintes parâmetros:

- a) Alto teor de orgânicos, devido à presença de substâncias do leite;
- b) Óleos e graxas, devido à gordura do leite e de outros produtos lácteos;
- c) Altos teores de nitrogênio e fósforo, principalmente em função do uso de produtos para limpeza e desinfecção;
- d) Grandes variações no pH, residuais de soluções ácidas e alcalinas, basicamente das operações de limpeza;
- e) Alta condutividade, especialmente na produção de queijos devido ao resíduo de cloreto de sódio da salga;
- f) Variações na temperatura, provocadas por etapas produtivas específicas.

Tabela 3.19 — Características dos efluentes gerados nas indústrias de laticínios.

Parâmetro	Unidade	Faixa de variação	
		1	2
Sólidos suspensos	mg/L	24 – 5700	100 – 1000
Sólidos totais	mg/L	135 – 8500	100 – 2000
DQO	mg/L	500 – 4500	6000
DBO ₅	mg/L	450 – 4790	4000
Proteína	mg/L	210 – 560	ND
Gordura/Óleos e graxas	mg/L	35 – 500	95 – 550
Carboidratos	mg/L	252 – 931	ND
Nitrogênio amoniacal	mg/L	10 – 100	ND
Nitrogênio Total	mg/L	15 – 180	116
Fósforo Total	mg/L	20 – 250	0,1 – 46
Sódio	mg/L	60 – 807	ND
Cloretos	mg/L	48 – 469	ND
Cálcio	mg/L	57 – 112	ND
Magnésio	mg/L	22 – 49	ND
Potássio	mg/L	11 – 160	ND
pH	-	5,3 – 9,4	1 - 12
Temperatura	°C	12 – 40	20 – 30

Fonte: CETESB (2006).

(1)Environment Agency of England and Wales, 2000 European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control Jan/2006

(2) ABIQ.

Com intuito de mitigar os impactos ambientais decorrentes de lançamento de efluentes em corpos hídricos vários países e regiões do mundo adotam padrões de qualidade para o efluente descartado e para o corpo receptor.

Com efeito, no Brasil, as indústrias devem seguir os limites estabelecidos na Resolução CONAMA n° 430/2011, em nível federal, e em nível estadual suas respectivas legislações. Os principais parâmetros e seus limites a serem observados pelas indústrias de laticínios de acordo com a legislação federal e a estadual do estado do Ceará são apresentados na **Tabela 3.20**.

Tabela 3.20 – Padrões de Lançamento de Efluentes

Parâmetro	Valor Máximo – Portaria SEMACE 154/02	Valor Máximo – CONAMA n° 430/2011
DBO	60 mg/L, no caso de tratamento em lagoas de estabilização.	DBO5 - remoção mínima de 60% de DBO5, sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico, que comprove atendimento as metas do enquadramento do corpo receptor.
DQO	200 mg/L, independente do tratamento utilizado.	-
Sólidos em Suspensão Totais	100 mg/L, sendo 150 mg/L nos casos de lagoas de estabilização.	-
Materiais Sedimentáveis	1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes.	
Óleos e Graxas	Óleos minerais: 20mg/L	
	Óleos vegetais e gorduras animais: 50mg/L	

Fonte: Adaptado de FIEMG (2015).

Dessa forma, as indústrias adotam um conjunto de processos de tratamento para gerar um efluente na qualidade exigida pela legislação. Geralmente, o tratamento de efluentes industriais engloba um Tratamento Preliminar para a retirada de sólidos grosseiros, um

Primário para a remoção de sólidos e suspensão e de gorduras e um Secundário para redução das concentrações de DBO.

Um Tratamento Terciário é indicado quando se identificam no efluente, microrganismos patogênicos, metais pesados e nutrientes que não foram retirados nos processos anteriores. A **Tabela 3.21** apresenta uma comparação entre os possíveis sistemas de tratamento secundários que podem ser adotados pelas indústrias.

Tabela 3.21 – Sistemas de Tratamentos Secundários Adotados por Indústrias.

Tratamento Secundário	Vantagens	Desvantagens
Lodos Ativados	Elevada eficiência; Baixos requisitos de área; Flexibilidade operacional; Resistência a carga de choques; Menor possibilidade de insetos e maus odores.	Alto investimento; Alto custo operacional; Supervisão contínua; Tratamento do lodo; Ruídos.
Lagoas de Estabilização	Eficiência na remoção de DBO; Construção, operação e manutenção simples; Pouco equipamento mecânico; Pouco consumo de energia.	Necessita de grandes áreas; Ocorrência de algas; Dependência climática; Odor.
Biofiltros	Boa eficiência na remoção de DBO; Necessidade de pequena área; Equipamentos simples; Baixo consumo energético; Baixo custo operacional; Simples operação.	Alto custo de implantação; Dependência climática; Odor; Alta perda de carga.
Disposição no solo	Eficiência na remoção de DBO; Método de tratamento e disposição combinado; Simples construção, operação e manutenção; Consumo de energético nulo; Não ha geração de lodo; Positivo em áreas agriculturáveis	Elevado requisito de área; Odor e insetos; Depende de características do solo; Possibilidade de impacto no solo.

Fonte: Adaptado de FIEMG (2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

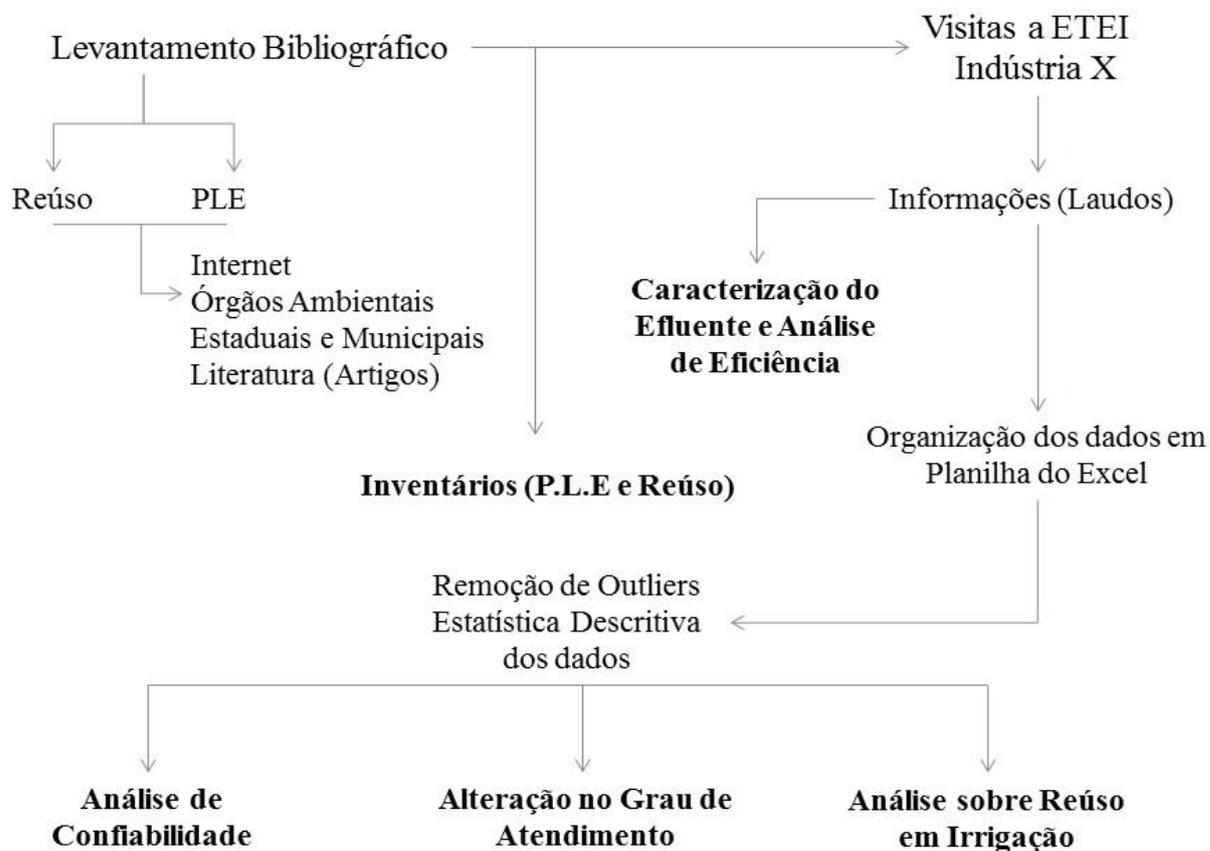
4.1. Procedimento Geral

O levantamento das informações para o desenvolvimento dos inventários ocorreu por meio do contato com os Órgãos Ambientais de cada estado brasileiro. Sites de busca da internet também foram muito utilizados para a obtenção das legislações e de artigos pertinentes ao assunto.

Através de visitas a Indústria X e das informações contidas nos laudos do Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN) da UFC realizou-se a análise de eficiência de remoção dos poluentes do efluente.

Organizaram-se os dados da caracterização do efluente em uma Planilha do Excel a qual foi utilizada para desenvolver a estatística descritiva dos dados e a análise de confiabilidade da estação, conforme pode ser observado na **Figura 4.1**.

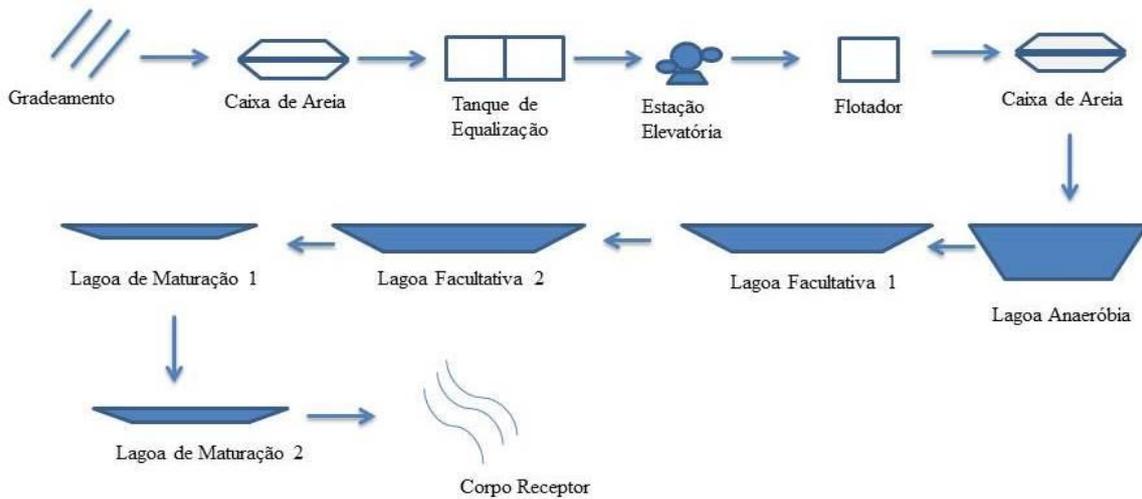
Figura 4.1 – Fluxograma da Metodologia.



4.2. Descrição da ETEI

O Sistema de Tratamento de Efluentes oriundos do processo industrial estudado é composto por gradeamento, caixa de areia, tanque de equalização, flotador, uma lagoa anaeróbia, duas lagoas facultativas em série e duas lagoas de maturação em série. A **Figura 4.2** traz um croqui do funcionamento da ETEI e a **Figura 4.3** a vista aérea das lagoas e do corpo receptor.

Figura 4.2 – Croqui da ETEI da Indústria de Laticínios estudada.



Fonte: O autor (2016).

Figura 4.3 – Vista aérea das lagoas e do corpo receptor.



Fonte: Google Earth (2015).

Foram fornecidos pela Indústria X dados de caracterização físico-química e microbiológica dos esgotos afluentes e efluentes, os quais podem ser verificados no Anexo A.

4.3. Levantamento e Organização dos Dados

O período de abrangência dos dados variou de maio a novembro de 2015. As concentrações afluentes e efluentes à ETEI foram disponibilizadas pela Indústria X, possibilitando o cálculo de eficiência de remoção.

O Anexo A mostra os laudos emitidos pelo Laboratório de Saneamento Ambiental (LABOSAN) da Universidade Federal do Ceará (UFC), os quais apresentam as concentrações dos parâmetros para a elaboração deste trabalho.

Os principais parâmetros analisados foram: Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST), Condutividade (CE), Amônia (NH₃), nutrientes causadores de eutrofização e compostos relevantes para a análise sobre reúso em irrigação. Esses parâmetros foram escolhidos, pois possuem limites estabelecidos pela Portaria da SEMACE n° 154/02, possibilitando a aplicação do estudo de confiabilidade.

4.4. Remoção de Outliers

Preliminarmente à estatística descritiva do número de dados, foi necessário verificar se os parâmetros monitorados apresentavam valores extremos, ou outliers. Para a identificação e exclusão desses dados, utilizou-se um teste empírico utilizado por Silveira (2011).

O teste consiste na determinação de limites inferior e superior, sendo estes calculados utilizando o primeiro e o terceiro quartil da série de dados, denominados de quartil inferior (Q_{inf}) e superior (Q_{sup}), respectivamente, como mostram as **Equações 4.1 e 4.2**.

$$L_{inf} = Q_{inf} - 1,5(Q_{sup} - Q_{inf}) \quad \text{Equação 4.1}$$

$$L_{sup} = Q_{sup} - 1,5(Q_{sup} - Q_{inf}) \quad \text{Equação 4.2}$$

Os valores observados abaixo do limite inferior ou acima do limite superior são considerados outliers e, portanto, eliminados do conjunto de dados analisados.

4.5. Estatística Descritiva do Número de Dados

Após a remoção dos outliers, foram calculadas a média aritmética, mediana, moda, desvio padrão, valores máximos e mínimos, quartis inferior e superior e percentis de 10% e 90% do número de dados coletados de cada constituinte.

A fim de facilitar a compreensão utilizou-se o programa Excel para elaborar gráficos do tipo box-plot. Nestes gráficos, são plotados os valores máximo e mínimo, o valor referente à mediana, além do 10º e 90º percentil e do 1º e 3º quartil do número de dados coletados de cada parâmetro.

4.6. Atendimento aos Limites Preconizados pela Legislação

Foi realizada uma análise dos dados efluentes dos parâmetros estudados por meio da estatística descritiva e as concentrações efluentes médias comparadas aos limites preconizados pela Portaria nº 154/02 da SEMACE e pela Resolução nº 430/11 do CONAMA, além de comparadas aos valores reportados na literatura especializada. Os padrões de lançamento seguem na **Tabela 4.1**. Vale ressaltar que a resolução federal não apresenta concentração limite de descarte para DQO e SST.

Tabela 4.1 – Padrões de descarte para efluentes de ETEs.

Legislação		Concentrações Exigidas nos Efluentes					
		pH	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	N (mg/L)	CTer (NMP/100mL)
CE	Portaria SEMACE 154/2002	5,0 - 9,0	200 200 ⁽¹⁾	60 ⁽¹⁾	50 ⁽²⁾ 100 150 ⁽¹⁾	5 ⁽³⁾ 20 ⁽³⁾⁽⁴⁾	5000
BR	BRASIL CONAMA 430/2011	5,0 - 9,0	–	120	–	20 ⁽⁵⁾	-

Fonte: Adaptado da Resolução nº 430/11 CONAMA e Portaria nº 154/02 SEMACE.

1. Para efluentes de Lagoas de Estabilização.
2. Para efluentes domésticos.
3. Nitrogênio Amoniacal.
4. Somente para pH abaixo de 8 (Portaria SEMACE nº 111/11).
5. O padrão para Nitrogênio Amoniacal é opcional.

Novamente, recursos como gráficos box-plot foram utilizados para melhorar a visualização e entendimento da variabilidade dos dados efluentes. Para se quantificar a percentagem dos dados coletados que respeitaram os padrões de lançamento, foram utilizados gráficos de distribuição de probabilidade acumulada.

4.7. Cálculo da Confiabilidade da Estação

Para todos os parâmetros analisados foi assumida uma distribuição Lognormal, já que esta se revela como a mais adequada para análises de confiabilidade.

Para o cálculo da confiabilidade da estação de tratamento da Indústria X adotou-se a metodologia desenvolvida por Niku et al. (1979) e utilizada por Oliveira (2006), Monteiro (2009) e Silveira (2011), a qual determina um valor de concentração média efluente que esteja abaixo dos padrões de lançamento para um determinado nível de confiabilidade.

A partir do produto entre a variável normal padronizada (obtida na **Tabela 4.2** para um determinado nível de confiabilidade) e do coeficiente de variação dos dados (relação entre o desvio padrão e a média dos valores efluentes) obteve-se o coeficiente de confiabilidade (CDC), o qual sendo multiplicado pela concentração efluente especificada na legislação resulta na concentração média efluente para o nível de confiabilidade adotado.

Tabela 4.2 – Variável normal padronizada para vários níveis de confiabilidade.

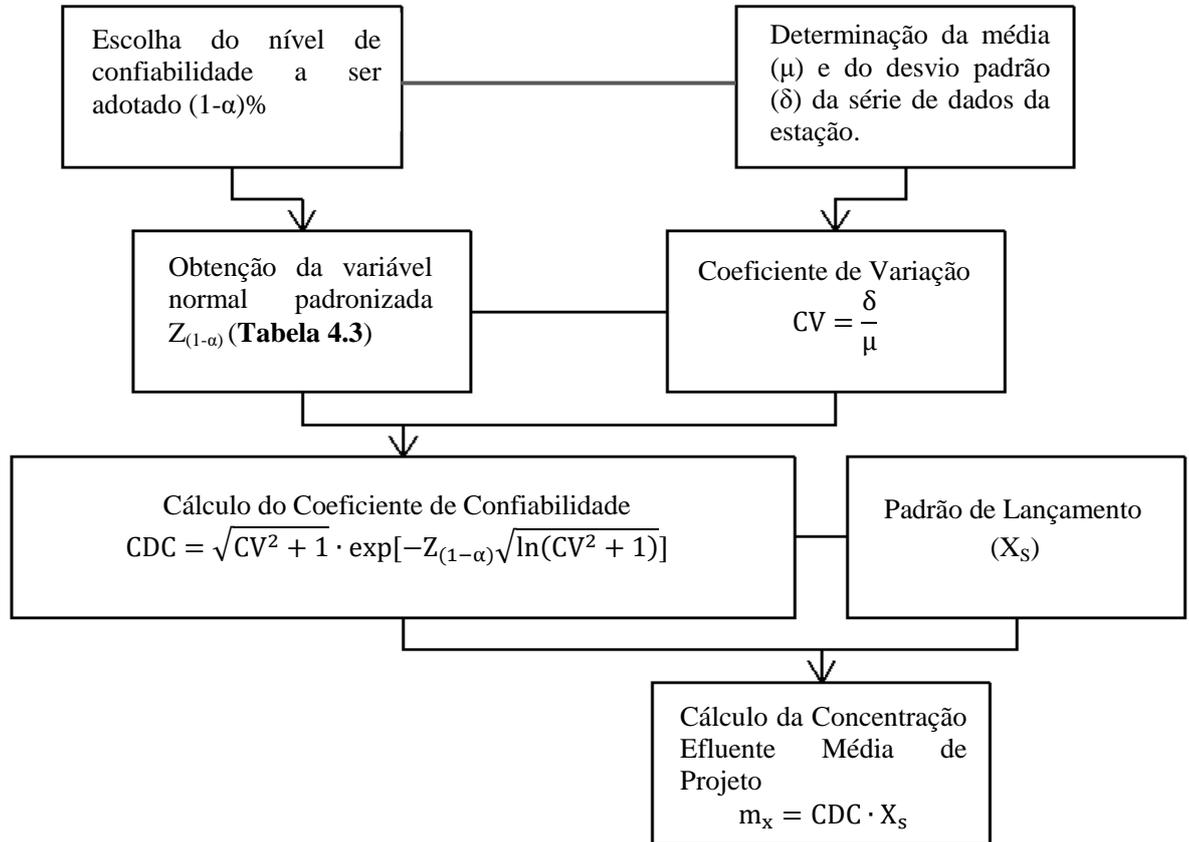
Nível de Confiabilidade (%)	$Z_{(1-\alpha)}$
80	0,842
90	1,282
95	1,645
98	2,054
99	2,326

Fonte: Adaptado de Oliveira e Von Sperling (2007).

De posse dos valores das concentrações efluentes e dos coeficientes de variação da ETEI estudada, foi calculado o percentual esperado de atendimento às metas de lançamento adotadas. Para os valores de $Z_{(1-\alpha)}$ resultantes, foram obtidos os valores correspondentes à probabilidade cumulativa da distribuição normal padronizada (distribuição Z). Estes valores foram determinados por meio da função DIST.NORMP do Excel e são equivalentes ao percentual de atendimento alcançado.

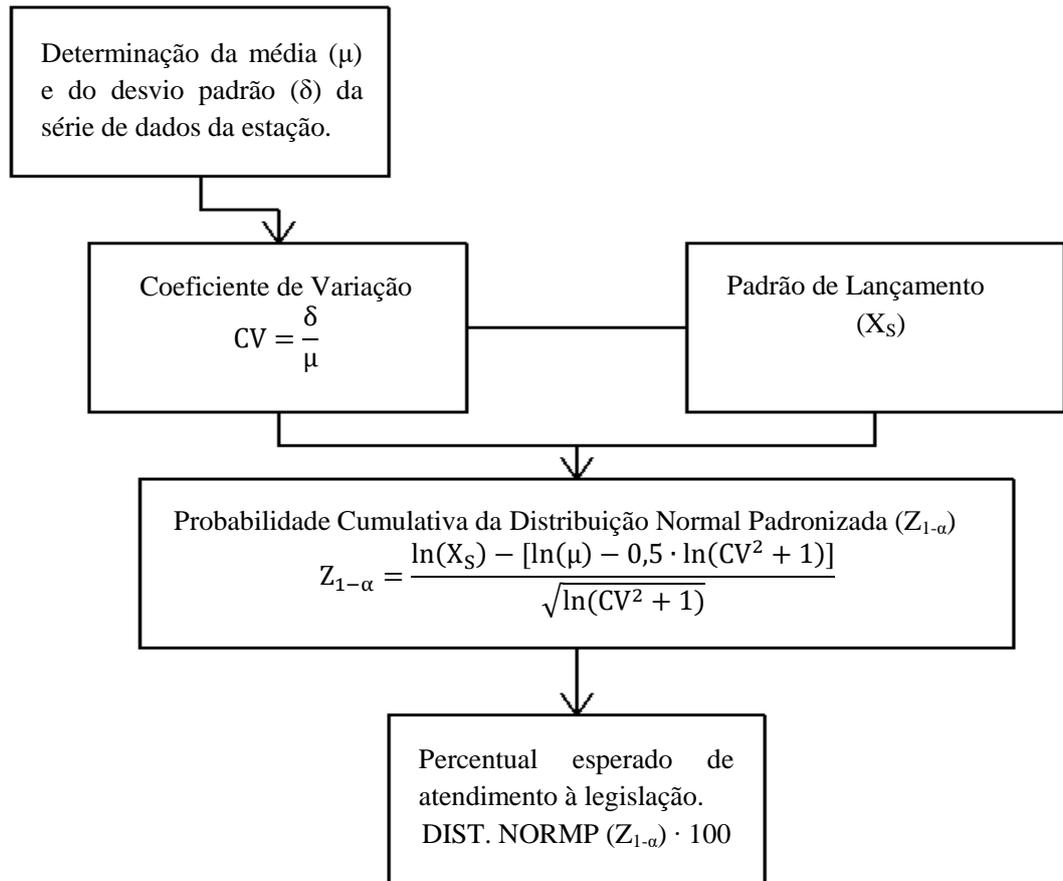
As **Figuras 4.4 e 4.5** mostram o procedimento para o cálculo dos coeficientes de confiabilidade, das concentrações de projeto e dos percentuais esperados de atendimento às metas de lançamento adotadas.

Figura 4.4 –Etapas para determinação do CDC e das concentrações de projeto.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2006).

Figura 4.5 –Etapas para determinação do percentual esperado de atendimento à legislação.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2006).

Através das concentrações e percentuais esperados de atendimento aos padrões de lançamento é que se avalia a ETEI em relação à sua confiabilidade. A análise das concentrações visa à obtenção de um valor de projeto ou operação que considere a variação das condições de operação de uma estação de tratamento. Quanto maior o percentual de atendimento alcançado maior é a capacidade da ETE de produzir um efluente com concentração média abaixo dos padrões de lançamento.

Desta forma, foram calculados os CVs, CDCs, m_x , e percentuais esperados de atendimento às metas para os parâmetros estudados, considerando um nível de confiabilidade de 95%, ou seja, uma probabilidade de falha de 5% em alcançar o padrão.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Inventário e Análise de Padrões de Lançamento de Efluentes em Nível Nacional com o estabelecimento de Níveis de Restrição

A **Tabela 5.1 e 5.2** apresentam os parâmetros adotados por 17 estados brasileiros em comparação com a legislação federal. Essa análise foi realizada com o intuito de verificar a variação no atendimento a legislação vigente por meio da adoção de padrões menos restritivos.

Nota-se que para o parâmetro de DBO, todos os estados adotam valores mais restritivos do que a preconizada pela Resolução CONAMA nº 430/11, excetuando-se os estados de Pernambuco, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul que são flexíveis em função da grandeza da poluição, isto é, variam de acordo com a vazão ou carga do poluente e não em termos de concentração.

A flexibilidade em relação à grandeza da poluição considera que quanto menor for à geração de carga poluente, menor será a eficiência de remoção requerida e maior será a concentração admissível no efluente.

Adotar padrões em termos de concentração é uma interrelação entre os padrões de lançamento de efluentes e os padrões de qualidade dos corpos hídricos. No entanto, verifica-se que esse mecanismo não promove a diferenciação de pequenos (baixa vazão) e grandes poluidores (alta vazão).

Dessa forma, o pequeno poluidor possui dificuldades de provar sua menor participação na degradação da qualidade dos corpos hídricos, devendo se adequar aos mesmos padrões estabelecidos para os grandes poluidores, gerando maiores custos com tratamento.

Acrescenta-se que a não consideração da carga poluidora no padrão de lançamento desestimula a redução do consumo de água e da produção de efluentes de uma indústria, pois com uma menor vazão e a manutenção da carga poluidora a concentração dos poluentes nos efluentes aumentará, eventualmente, ocasionando o descumprimento das legislações vigentes.

A Resolução CONAMA nº 430/11 em seu artigo 7º estabelece que o órgão ambiental competente deve, por meio de norma específica ou no caso de licenciamento da atividade ou empreendimento, estabelecer a carga poluidora máxima para o lançamento de

substâncias passíveis de estarem presentes ou serem formadas em seus processos produtivos, de modo a não comprometer as metas de enquadramento dos corpos hídricos.

Também define por meio de seu artigo 28º que o responsável por fonte potencial ou efetivamente poluidora dos recursos hídricos apresente ao órgão ambiental competente uma Declaração de Carga Poluidora, até o dia 31 de março de cada ano, referente ao ano anterior.

Logo, percebe-se a importância de adotar padrões de lançamento tendo como base a carga poluidora presente nos efluentes.

Por conseguinte, destaca-se a Resolução CEMA nº 70/09 do estado do Paraná, a qual dispõe sobre o licenciamento ambiental e estabelece condições e critérios e dá outras providências para empreendimentos industriais. Essa legislação adota valores de concentração específicos a serem cumpridos de acordo com a atividade industrial, estabelecendo a concentração de 200 mg/L de DQO e 50 mg/L de DBO para indústria de laticínios.

A legislação do estado do Ceará adota concentrações específicas para DBO, DQO e SST para efluentes de sistemas de lagoas de estabilização, devido a suas características. A DBO desse tipo de efluente é composta de uma fração solúvel e de uma fração particulada. Isso ocorre devido às algas presentes, as quais possuem matéria orgânica em sua constituição celular.

Ressalta-se que a legislação do Ceará flexibiliza o padrão para amônia. Segundo a Portaria da SEMACE nº 111/11, para valores de pH abaixo de 8 o valor máximo permitido para amônia é 20 mg/L. A legislação federal e o estado de Minas Gerais também adotam a concentração de 20 mg/L para esse parâmetro, no entanto, não é um parâmetro exigível de cumprimento, sendo apenas aconselhável.

Tabela 5.1 – Comparação entre os Padrões de Lançamento Estaduais.

Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos										
Estados	Legislação	Concentrações Exigidas nos Efluentes						Eficiência de Remoção (%)		
		DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	CTer (NMP/ 100mL)	DQO	DBO	SST
AM	Resolução COMDEMA 34/2012	100 150 ⁽¹⁾	60 90 ⁽¹⁾	100 ⁽²⁾ 60 ⁽³⁾	–	–	–	–	75 85 ⁽¹⁾	–
RO	Decreto 7.903/1997	–	–	–	5 ⁽⁴⁾	–	–	–	–	–
AL	Decreto 6.200/1985	150	60	–	0,5 ⁽⁴⁾	–	–	–	–	–
BA	Resolução CEPRAM 2.228/2000	–	–	–	–	–	10 ⁶	–	80 – 95 ⁽⁵⁾	70-90 ⁽⁵⁾
CE	Portaria SEMACE 154/2002	200 200 ⁽⁷⁾	60 ⁽⁷⁾	50 ⁽⁶⁾ 100 150 ⁽⁷⁾	5 ⁽⁴⁾ 20 ⁽⁴⁾⁽⁸⁾	–	5000	–	–	–
MA	Portaria SEMA 79/2013	–	–	–	–	–	–	–	90	90
PE	NT 2001/2002/2007 da CPRH	360 (C ≤ 2) ⁽⁹⁾ 160 (2 < C ≤ 6) 120 (6 < C ≤ 50) 60 (C > 50)	180 (C ≤ 2) ⁽⁹⁾ 80 (2 < C ≤ 6) 60 (6 < C ≤ 50) 30 (C > 50)	–	–	–	De 10 ⁶ a 10 ⁴ (10)	60 – 90 ⁽¹¹⁾	40 (C ≤ 2) ⁽⁹⁾ 70 (2 < C ≤ 6) 80 (6 < C ≤ 50) 90 (C > 50)	–
GO	Decreto 1.745/1979	–	60	–	–	–	–	–	80	–
MT	Resolução CONSEMA 55/2012	120 ⁽¹²⁾	60 ⁽¹²⁾	–	–	–	1000 ⁽¹²⁾	–	–	–
MS	Deliberação CECA 36/2012	–	100 120 ⁽¹⁾	–	20 20 ⁽¹⁾⁽¹³⁾	–	–	–	90 80 ⁽¹⁾	–
BRASIL	CONAMA 430/2011	–	120	–	20 20 ⁽¹⁾⁽¹³⁾	–	–	–	60	–

Fonte: O autor (2016).

Tabela 5.2 – Comparação entre os Padrões de Lançamento Estaduais (Continuação).

Estados	Legislação	Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos						Eficiência de Remoção (%)		
		Concentrações Exigidas nos Efluentes						DQO	DBO	SST
		DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	CTer (NMP/ 100mL)			
ES	Resolução COMDEMA 02/1991	200	–	100	5 ⁽⁴⁾	–	–	–	90(C ≥ 100) ⁽⁹⁾	–
MG	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/2008	180 250 ⁽¹⁴⁾	60	100 150 ⁽⁷⁾	5 ⁽⁴⁾ (13)	–	–	70	75	–
RJ	NT FEEMA 202.R10 e Diretriz FEEMA DZ 215.R3	–	180 (C ≤ 5) ⁽⁹⁾ 100 (5 < C ≤ 25) 65 (25 < C ≤ 80) 40 (C > 80)	–	5 ⁽⁴⁾ 10 ⁽¹⁵⁾⁽¹⁸⁾	1 ⁽¹⁵⁾	–	–	30 (C ≤ 5) ⁽⁹⁾ 65 (5 < C ≤ 25) 80 (25 < C ≤ 80) 85 (C > 80)	–
SP	Decreto 8.468/1976	–	60	–	–	–	–	–	80	–
PR	Resolução CEMA 21/2009 e 70/2009	225 200 ⁽¹¹⁾⁽¹⁶⁾	90 50 ⁽¹⁶⁾	–	–	–	–	–	–	–
RS	Resolução CONSEMA 128/2006	400 (Q < 20) ⁽¹⁷⁾ 360 (20 ≤ Q < 100) 330 (100 ≤ Q < 500) 300 (500 ≤ Q < 1000) 260 (1000 ≤ Q < 3000) 200 (3000 ≤ Q < 7000) 180 (7000 ≤ Q < 10 ⁴) 150 (Q ≥ 10 ⁴)	180 (Q < 20) ⁽¹⁷⁾ 150 (20 ≤ Q < 100) 110 (100 ≤ Q < 500) 80 (500 ≤ Q < 1000) 70 (1000 ≤ Q < 3000) 60 (3000 ≤ Q < 7000) 50 (7000 ≤ Q < 10 ⁴) 40 (Q ≥ 10 ⁴)	–	20 (Q < 100) ⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾ 20 (100 < Q ≤ 10 ³) 15 (10 ³ < Q ≤ 10 ⁴) 10 (Q ≥ 10 ⁴) 20 ⁽⁴⁾	4 (Q < 100) ⁽¹⁷⁾ 3 (100 ≤ Q < 10 ³) 2 (10 ³ ≤ Q < 10 ⁴) 1 (Q ≥ 10 ⁴)	10 ⁵ (Q < 100) ⁽¹⁷⁾ 10 ⁴ (100 ≤ Q < 10 ³) 10 ⁴ (10 ³ ≤ Q < 10 ⁴) 10 ³ (Q ≥ 10 ⁴)-	–	–	–
SC	Decreto N° 14.250/1981 e Lei 14.675/2009	–	60	–	10 ⁽¹⁵⁾⁽¹⁸⁾	4 ⁽¹⁵⁾⁽¹⁹⁾	–	–	80	–
BRASIL	CONAMA 430/2011	–	120	–	20 20 ⁽¹⁾⁽¹³⁾	–	–	–	60	–

Fonte: O autor (2016).

1. Para efluentes oriundos de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários.
2. Valor Máximo Diário.
3. Média Aritmética Mensal.
4. Nitrogênio Amoniacal.
5. Variável de acordo com o padrão socioeconômico do empreendimento imobiliário.
6. Para efluentes domésticos.
7. Para efluentes de Lagoas de Estabilização.
8. Somente para pH abaixo de 8 (Portaria SEMACE nº 111/11).
9. Variável de acordo com a Carga Orgânica diária bruta (kg/dia).
10. Variável de acordo com classes de enquadramento do corpo d'água receptor.
11. De acordo com o Tipo de Indústria.
12. Padrões de Lançamento para emissão de efluentes em galerias de águas pluviais.
13. O padrão para Nitrogênio Amoniacal não é exigível para Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários.
14. Para Indústria Têxtil.
15. Lançamentos em Corpos Hídricos contribuintes de lagoas ou lagunas ou estuários.
16. Pra Indústrias de Laticínios.
17. Variável de acordo com a Vazão diária (m^3/dia).
18. Nitrogênio Total.
19. A legislação prevê eficiência mínima de remoção de 75%.

Com base nas legislações estaduais apresentadas, a **Tabela 5.3** estabelece níveis de restrição de acordo com a concentração dos parâmetros nos efluentes.

O estado do Alagoas é classificado como muito restritivo para o parâmetro amônia (0,5 mg/L), sendo um valor discrepante em relação aos adotados pelas outras legislações.

Dentre os estados considerados muito restritivos estão Pernambuco, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, os mesmos que flexibilizam as concentrações em função da carga ou da vazão. Por isso, esses estados também estão enquadrados nas outras categorias.

O parâmetro DBO é adotado por quase todos os estados, excetuando-se Roraima, Bahia, Maranhão e Espírito Santo, sendo 60 mg/L o valor de concentração adotado pela maioria dos estados.

O estado da Amazônia e o Mato Grosso do Sul definem concentrações específicas de DBO e de eficiência de remoção desse parâmetro para efluentes oriundos de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários, enquadrando esses valores como menos restritivos.

Os únicos estados que adotam padrão para fósforo são Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O RJ adota um padrão restritivo de 1 mg/L, enquanto o RS flexibiliza

esse parâmetro em restritivo e menos restritivo. Já SC adota uma concentração de 4 mg/L, sendo considerado como menos restritivo, mas requer no mínimo 75% de eficiência na remoção desse parâmetro.

Em relação aos coliformes termotolerantes o estado de Pernambuco é classificado como restritivo e menos restritivo, pois adota padrões de acordo com o enquadramento do corpo receptor. O estado do Mato Grosso apresenta o valor mais restritivo para esse parâmetro, adotando 1000 NMP/100mL.

Um valor comum adotado para os SST é 100 mg/L e 150 mg/L no caso de lagoas de estabilização. Por esse motivo, os estados do Ceará e da Amazônia estão enquadrados em muito restritivos e restritivos, respectivamente.

Percebe-se que o estado do Maranhão não adota nenhuma concentração de valores máximos para os parâmetros adotando somente a eficiência de 90% para a remoção de DBO.

Nota-se que a legislação do estado do Ceará, de forma geral, pode ser enquadrada como Restritiva em relação aos outros estados e contempla a maioria dos aspectos (concentrações máximas e recomendações) relativos à manutenção da qualidade do corpo hídrico.

Tabela 5.3 – Níveis de Restrições dos Padrões de Lançamento.

Parâmetro	Padrões de Lançamento de Efluentes em Corpos Hídricos (mg/L)			
	Muito Restritivo	Restritivo	Menos Restritivo	Não Adota
DQO (mg/L)	< 100	100-200	> 200	–
	PE ⁽¹⁾	AM, AL, CE, PE, MT, ES, MG, PR, RS ⁽²⁾	PE ⁽¹⁾ , MG, PR, RS ⁽²⁾	RO, BA, MA, GO, MS, RJ, SP, SC
DBO (mg/L)	< 50	50-60	> 60	–
	PE ⁽¹⁾ , RJ ⁽¹⁾ , RS ⁽²⁾	AM, AL, CE, PE ⁽¹⁾ , GO, MT, MG, RJ ⁽¹⁾ , SP, PR, RS ⁽²⁾ , SC	AM, PE ⁽¹⁾ , MS, RJ ⁽¹⁾ , PR, RS ⁽²⁾	RO, BA, MA, ES
SST (mg/L)	< 100	100-150	> 150	–
	AM, CE ⁽³⁾ , RJ ⁽¹⁾ , RS ⁽²⁾	AM, CE ⁽³⁾ , ES, MG, RJ ⁽¹⁾ , RS ⁽²⁾	RJ ⁽¹⁾ , RS ⁽²⁾	RO, AL, BA, MA, PE, GO, MT, MS, SP, PR, SC
N Total (mg/l)	< 10	10-20	> 20	–
	–	RJ ⁽¹⁾ , RS ⁽²⁾ , SC	–	AM, RO, AL, BA, CE, MA, PE, GO, MT, MS, ES, MG, SP, PR
NH ₃ (mg/l)	< 5	5-20	> 20	–
	AL	RO, CE, MS, ES, MG, RJ, RS	–	AM, BA, MA, PE, GO, MT, SP, PR, SC
P Total (mg/L)	< 1	1	> 1	–
	–	RJ, RS ⁽²⁾	SC, RS ⁽²⁾	AM, RO, AL, BA, CE, MA, PE, GO, MT, MS, ES, MG, SP, PR
CTer (NMP/100mL)	< 10 ⁴	10 ⁴ -10 ⁵	> 10 ⁵	–
	CE, MT	PE,RS ⁽²⁾	BA, PE, RS ⁽²⁾	AM, RO, AL, MA, GO, MS, ES, MG, RJ, SP, PR, SC
(1) Em Função da Carga Orgânica Bruta (kg/dia)				
(2) Em Função da Vazão Diária de Lançamento (m³/dia)				
(3) Adota limites diferentes de acordo com o tipo de efluente (doméstico, industrial, provenientes de lagoas de estabilização)				

Fonte: O autor (2016).

5.2. Análise de Eficiência

A caracterização do efluente tratado e o percentual de eficiência de remoção dos poluentes são apresentados no **Anexo A**. Realizou-se uma comparação entre os parâmetros do efluente tratado com os limites estabelecidos pela Portaria nº 154/02 da SEMACE e a Resolução CONAMA nº 430/11, visando verificar o cumprimento dessas legislações.

Nota-se que no laudo de maio apenas os Sólidos Suspensos Totais apresentam-se com concentração acima da estabelecida pela legislação vigente. Verifica-se também que eficiências negativas em alguns parâmetros, como condutividade e pH, mas ambos estão com concentrações efluentes dentro dos limites.

Nos meses de junho a novembro, observa-se que alguns parâmetros, como DQO, Sólidos Suspensos Totais e Amônia possuem concentrações superiores aos limites definidos. A Turbidez e o Cloreto também apresentaram elevadas concentrações.

Verifica-se que mesmo com porcentagens elevadas de eficiência de remoção do parâmetro DQO, esse não atinge a concentração permitida para o lançamento de efluentes em corpos hídricos.

As concentrações efluentes de amônia obtiveram concentrações inferiores a 20mg/L em seis dos laudos apresentados, estando em conformidade com a Resolução CONAMA nº 430/11. Entretanto, consoante à legislação vigente no estado do Ceará, Portaria SEMACE nº 111/11, os valores de concentração de amônia devem ser inferiores ou iguais a 5mg/L, quando o pH do efluente for maior que 8.

Dessa forma, os valores do parâmetro amônia ficaram acima do estabelecido pela Portaria nº 154/2002 da SEMACE, apresentando, exceto no laudo do mês de junho, valores de saída superiores ao de entrada.

5.3. Análise de Confiabilidade

Os dados obtidos para a análise da confiabilidade da ETEI foram fornecidos pela empresa referente ao período de maio a novembro de 2015, havendo poucos dados de entrada e saída da estação devido ao curto período de estudo.

A **Tabela 5.4** apresenta a análise das concentrações dos parâmetros pH, DQO_{FILTRADA}, DBO_{FILTRADA}, Sólidos Suspensos Totais, Amônia, Condutividade, Sulfato, Sulfeto, Fluoreto e *E. coli*

Tabela 5.4 – Análise estatística das amostras dos efluentes.

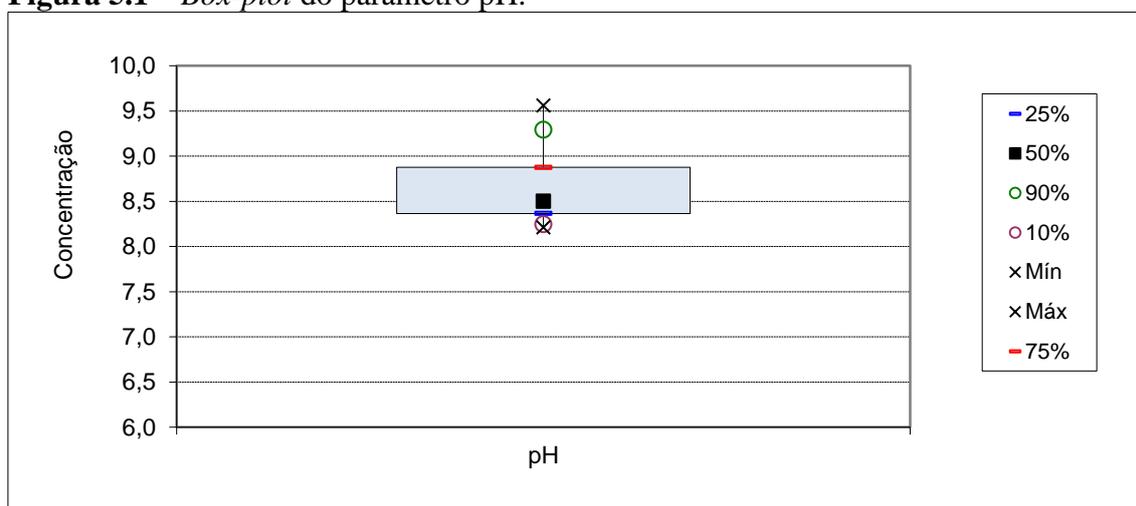
Estatística	pH	DQO Filtrada	DBO Filtrada	SST	Amônia	Condutividade	Sulfato	Sulfeto	Fluoreto	E. coli
	-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100mL
Núm dados	7	7	6	6	7	7	7	6	6	6
Média	8,7	229,7	10,3	895,5	15,3	2574	9	1	1	5354
Mínimo	8,21	57	2	336,00	3,2	2250	1,6	0,01	0,3	1
Máximo	9,56	434	20	1620,00	21	3480	26,37	3,1	1,3	20000
Coef. Var	0,06	0,67	0,61	0,64	0,38	0,18	0,90	1,52	0,66	1,40
Médias										
Média	8,7	229,7	10,3	895,5	15,3	2574,4	9,1	0,8	0,7	5354,3
Mediana	8,5	184,0	11,5	690,0	16,2	2350,0	8,4	0,4	0,5	3100,0
Média geométrica	8,7	178,9	8,3	748,2	13,5	2543,8	6,6	0,1	0,6	789,6
Variação										
Desvio padrão	0,5	154,7	6,3	572,7	5,8	454,3	8,2	1,2	0,5	7484,2
Méd - 1 desvpad	8,2	75,0	4,1	322,8	9,5	2120,1	0,9	-0,4	0,2	-2129,9
Méd + 1 desvpad	9,2	384,3	16,6	1468,2	21,1	3028,7	17,3	2,0	1,1	12838,5
Percentis										
10%	8,2	62,4	3,5	398,0	10,0	2256,0	2,6	0,0	0,3	113,0
25%	8,4	115,0	6,5	473,0	15,2	2260,5	4,4	0,0	0,3	843,8
50%	8,5	184,0	11,5	690,0	16,2	2350,0	8,4	0,4	0,5	3100,0
75%	8,9	351,4	12,0	1399,8	18,2	2710,0	9,3	0,8	1,1	5150,0
90%	9,3	425,0	16,0	1598,5	20,2	3090,0	16,1	2,0	1,3	12850,0
Outliers										
QI	8,37	115,00	6,50	473,00	15,20	2260,50	4,40	0,01	0,35	843,75
QS	8,88	351,35	12,00	1399,75	18,15	2710,00	9,26	0,80	1,07	5150,00
Limite Inferior	7,60	-239,53	-1,75	-917,13	10,78	1,59E+03	-2,89E+00	-1,18E+00	-7,29E-01	-5,62E+03
Limite Superior	9,64	705,88	20,25	2789,88	22,58	3,38E+03	1,66E+01	1,99E+00	2,14E+00	1,16E+04

Fonte: O autor (2016).

5.3.1. pH

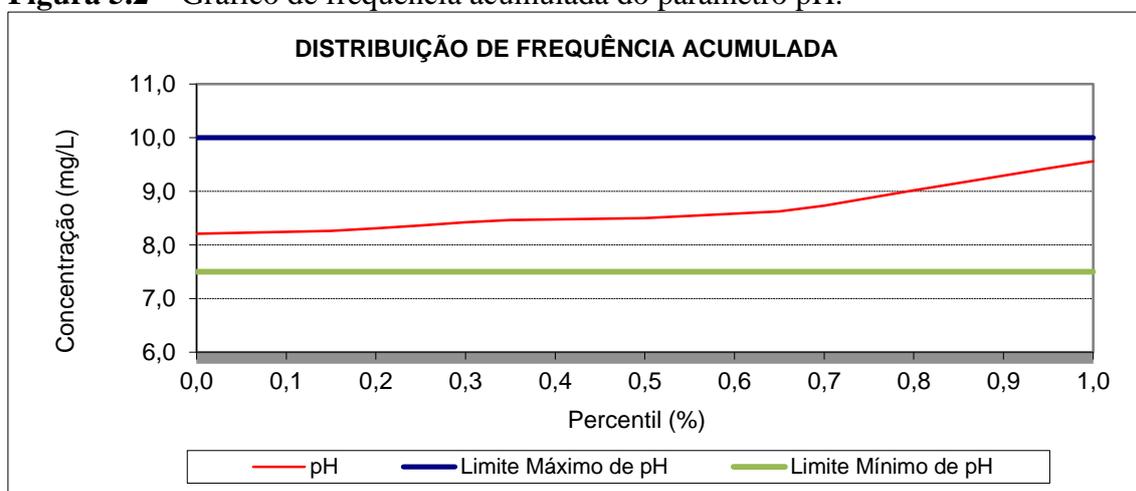
As **Figuras 5.1** e **5.2** mostram, respectivamente, o gráfico box-plot e o gráfico de distribuição de frequência acumulada dos valores efluentes de pH da estação.

Figura 5.1 – Box-plot do parâmetro pH.



Fonte: O autor (2016).

Figura 5.2 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro pH.



Fonte: O autor (2016).

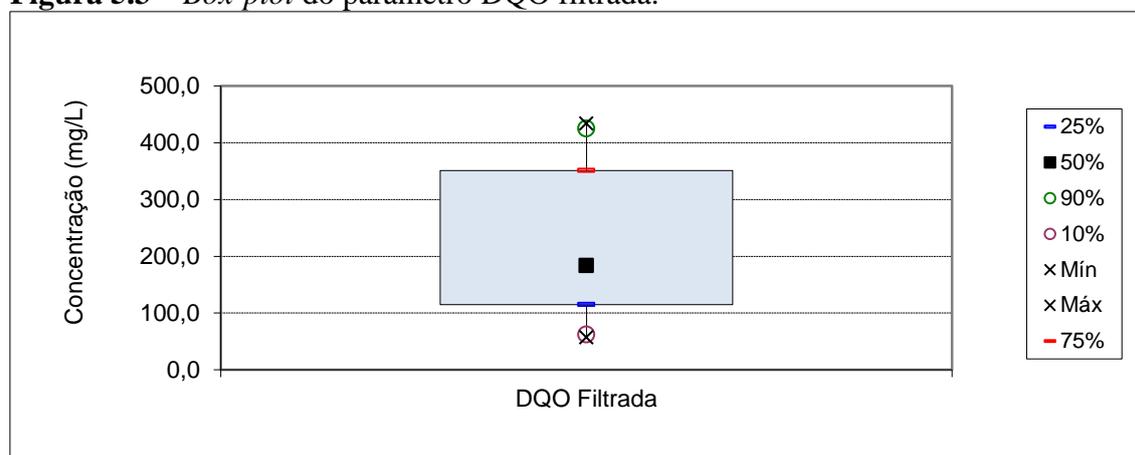
Observa-se que a estação apresentou uma homogeneidade de dados, com desvio padrão de 0,5 e coeficiente de variação de 0,06. A homogeneidade dos dados não implica necessariamente em bom desempenho e total atendimento aos limites de lançamento, uma vez que é possível que se tenham dados muito dispersos, mas variando dentro de uma faixa abaixo dos limites de lançamento ou dados menos dispersos, mas fora dos padrões estabelecidos.

A média para o pH é de 8,7 e os valores máximos e mínimos foram de 9,56 e 8,21, respectivamente. Pela análise do *Box-plot* é notório que os valores ficaram bem próximos da média e dentro do intervalo definido pela portaria nº 154/2002 da SEMACE. Quanto à distribuição de frequência apresentada, verificam-se todas as amostras estão dentro do intervalo permitido para o lançamento em corpos receptores.

5.3.2. DQO

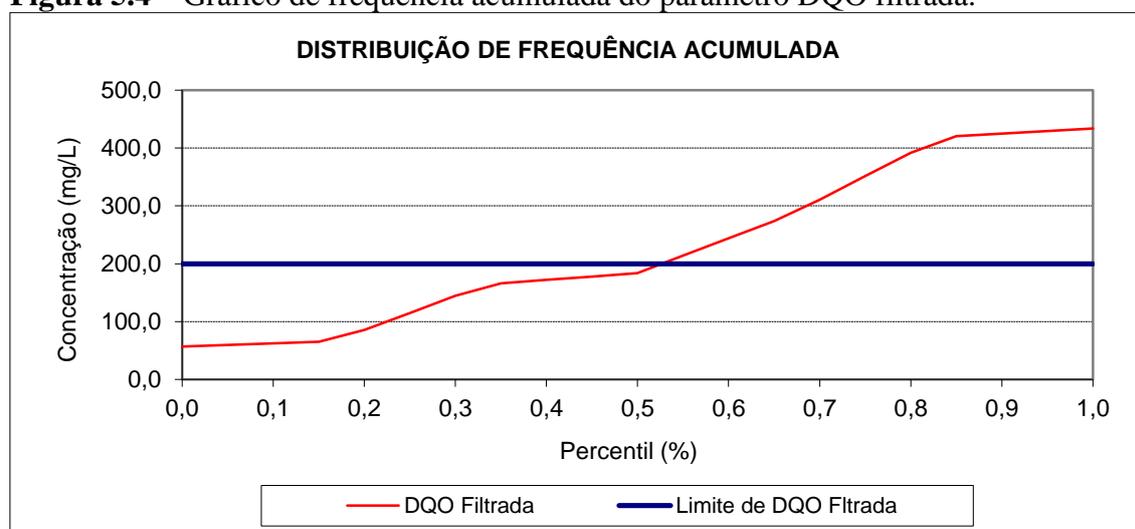
As **Figuras 5.3** e **5.4** mostram, respectivamente, o gráfico *box-plot* e o gráfico de distribuição de frequência acumulada das concentrações efluentes de DQO.

Figura 5.3 – *Box-plot* do parâmetro DQO filtrada.



Fonte: O autor (2016).

Figura 5.4 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro DQO filtrada.



Fonte: O autor (2016).

Os valores das concentrações efluentes de DQO encontrados variaram entre 57 e 434 mg/L com média de 229,7 mg/L. Percebe-se a dispersão dos dados pela diferença entre os valores máximos e mínimos, os intervalos interquartis e o coeficiente de variação de 0,67. O desvio padrão das amostras é de 154,7 mg/L de DQO.

Quanto ao atendimento do padrão de lançamento, aproximadamente 55% das amostras ficaram abaixo do valor máximo permitido de lançamento de efluente, indicando um desempenho insatisfatório no tratamento desse parâmetro.

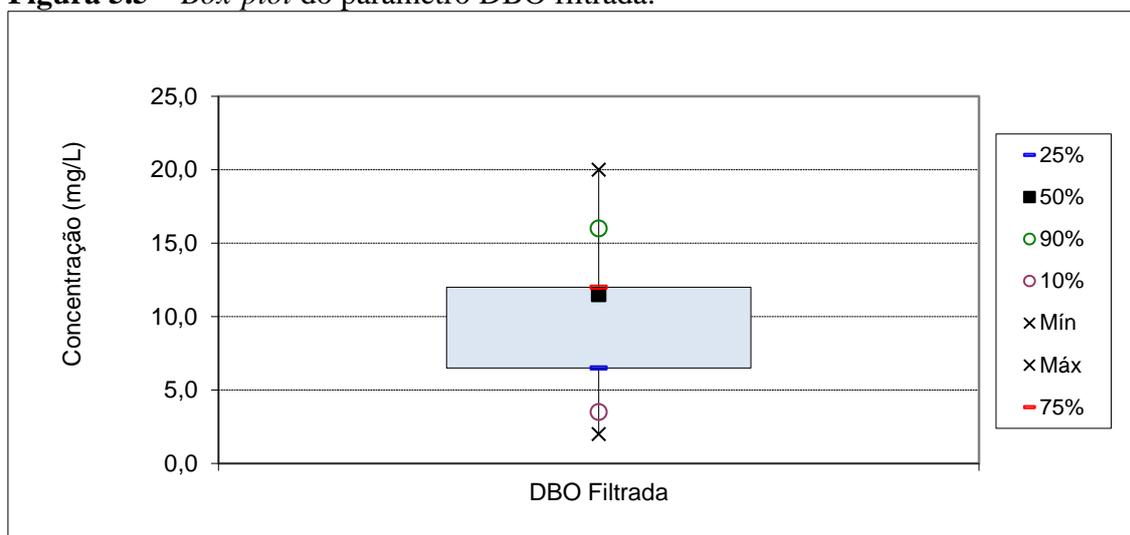
5.3.3. DBO

As **Figuras 5.5** e **5.6** mostram, respectivamente, o gráfico *box-plot* e o gráfico de distribuição de frequência acumulada das concentrações efluentes de DBO.

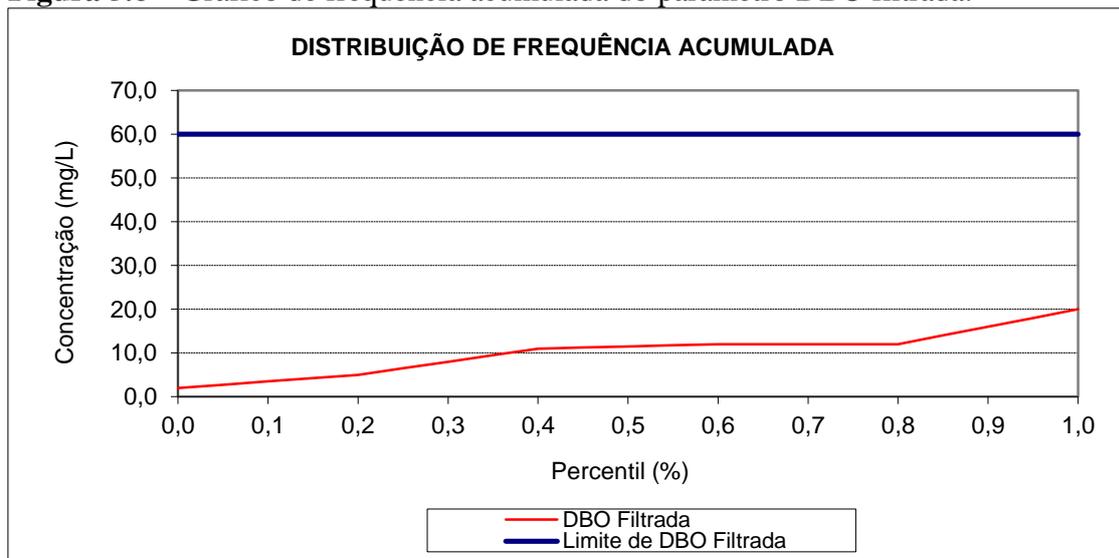
Observa-se que a DBO, assim como a DQO, obteve uma elevada dispersão dos dados evidenciada pelo coeficiente de variação de 0,61. Apesar dessa dispersão, 100% das concentrações estiveram abaixo do limite para lançamento em corpos hídricos, atendendo em 100% a Portaria da SEMACE n° 154/02.

Esse parâmetro obteve valores de limite máximo e mínimo de 20 mg/L e 2 mg/L, respectivamente, possui valor médio de 10,3 mg/L e desvio padrão de 6,3 mg/L.

Figura 5.5 – *Box-plot* do parâmetro DBO filtrada.



Fonte: O autor (2016).

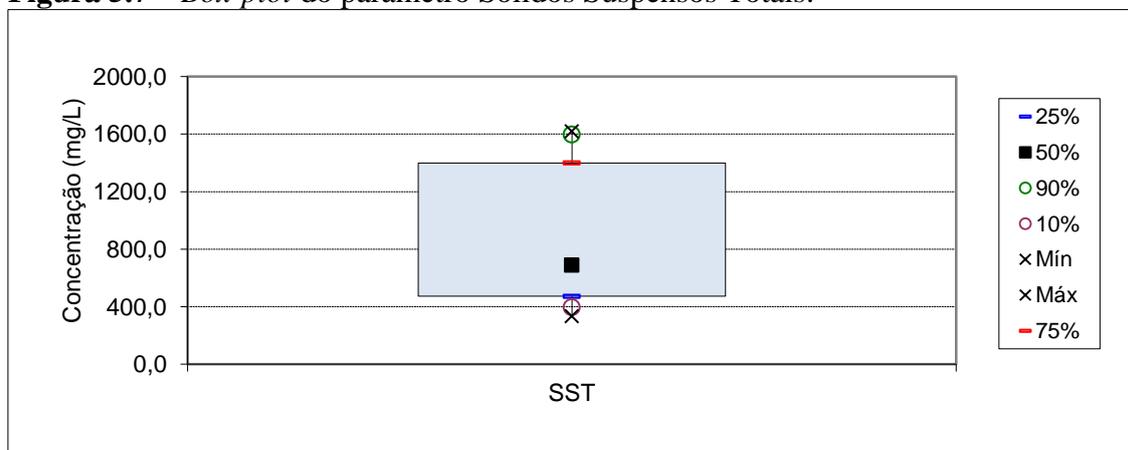
Figura 5.6 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro DBO filtrada.

Fonte: O autor (2016).

5.3.4. Sólidos Suspensos Totais

As **Figuras 5.7** e **5.8** mostram, respectivamente, o gráfico *box-plot* e o gráfico de distribuição de frequência acumulada das concentrações efluentes de sólidos suspensos totais para a estação da indústria de laticínios estudada.

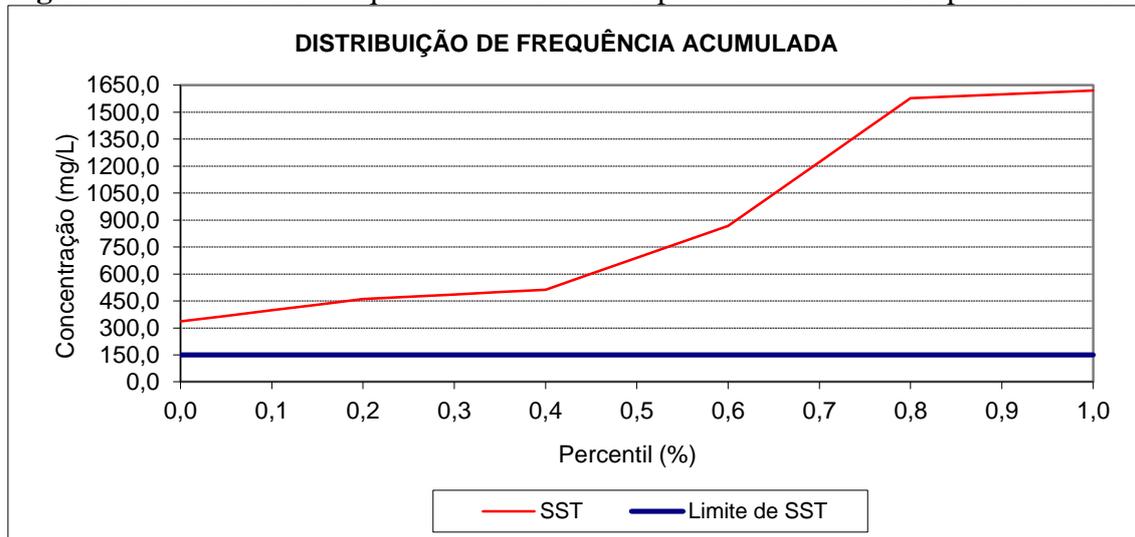
Observa-se que este parâmetro teve uma grande variação, possuindo dados dispersos, consoante com o coeficiente de variação de 0,64. Apresenta valor médio de 895,5 mg/L, máximo e mínimo de 1620 e 336 mg/L, respectivamente, e desvio padrão das amostras de 572,7 mg/L.

Figura 5.7 – *Box-plot* do parâmetro Sólidos Suspensos Totais.

Fonte: O autor (2016).

O gráfico revela que 100% das amostras ultrapassam o valor permitido pela portaria SEMACE nº 154/02 de 150 mg/L para efluentes oriundos de sistemas de lagoas de estabilização. Esta baixa eficiência pode contribuir para o aumento da DBO, DQO, e outros parâmetros não avaliados, como a Turbidez.

Figura 5.8 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Sólidos Suspensos Totais.

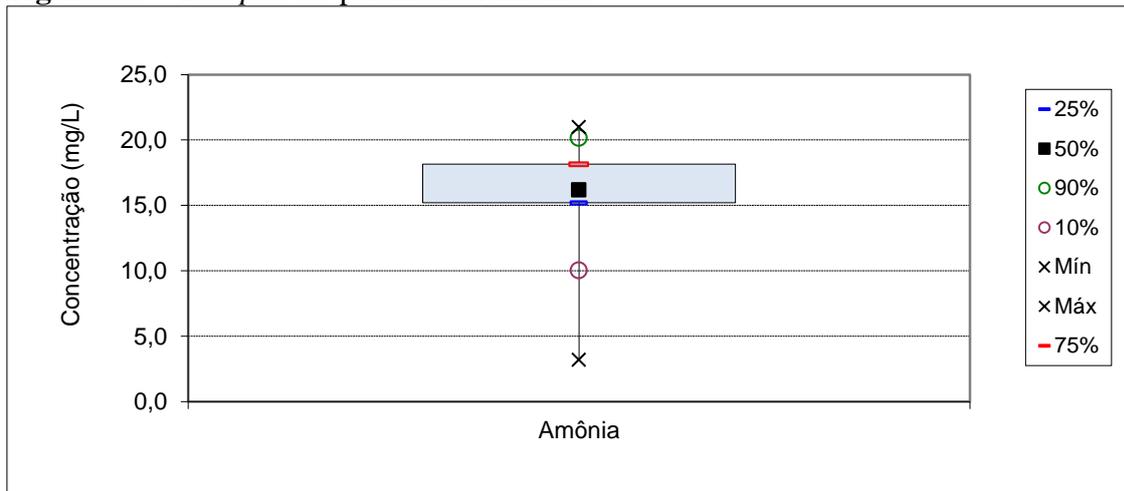


Fonte: O autor (2016).

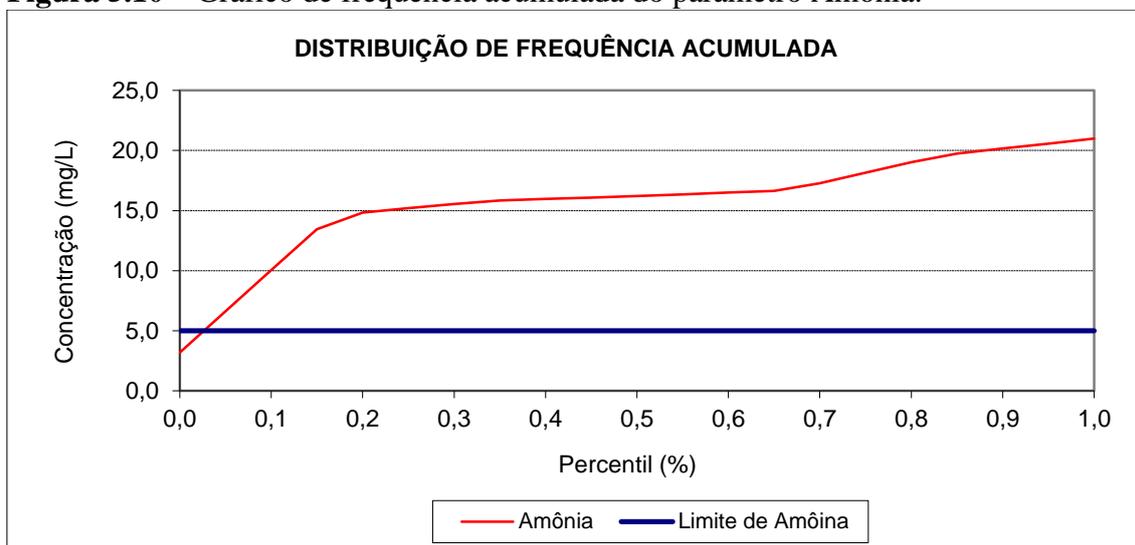
5.3.5. Amônia

A **Figura 5.9** mostra o gráfico *box-plot* das concentrações efluentes de amônia para a estação de tratamento estudada. Observa-se que este parâmetro teve dados homogêneos, indicado pela baixa amplitude de variação de valores apresentados pelos valores máximo e mínimo, 21 mg/L e 3,2 mg/L, respectivamente, e pelo baixo índice de variação de 0,38. Esse parâmetro obteve 50% das amostras com valor 16,2 mg/L, 25% das amostras com 15,2 mg/L e 75% das amostras com 18,2 mg/L.

Quanto ao atendimento à legislação, quase a totalidade das amostras estavam acima do limite estabelecido, indicando baixa eficiência na remoção deste poluente. A **Figura 5.10** traz a distribuição de frequência dos resultados das amostras.

Figura 5.9 – *Box-plot* do parâmetro Amônia.

Fonte: O autor (2016).

Figura 5.10 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Amônia.

Fonte: O autor (2016).

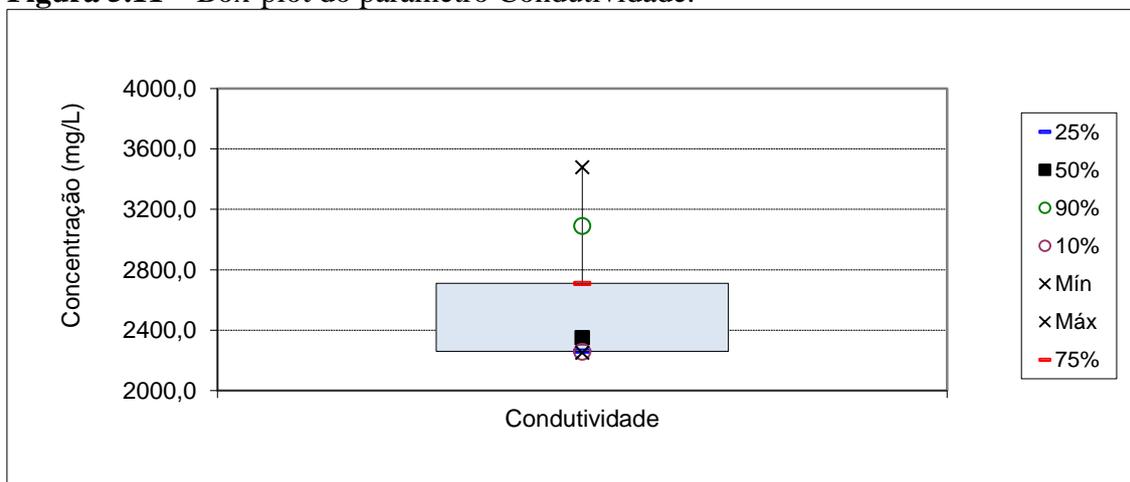
5.3.6. Condutividade

Os valores de condutividade encontrados variaram pouco, como apresentados pelo intervalo de máximo e mínimo, a saber, 3480 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e pelo coeficiente de variação de 0,18.

O gráfico box-pot para o parâmetro condutividade é apresentado na **Figura 5.11** e revela que 50% das amostras estão na concentração de 2350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e que o valor mínimo de 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ está próximo ao valor médio.

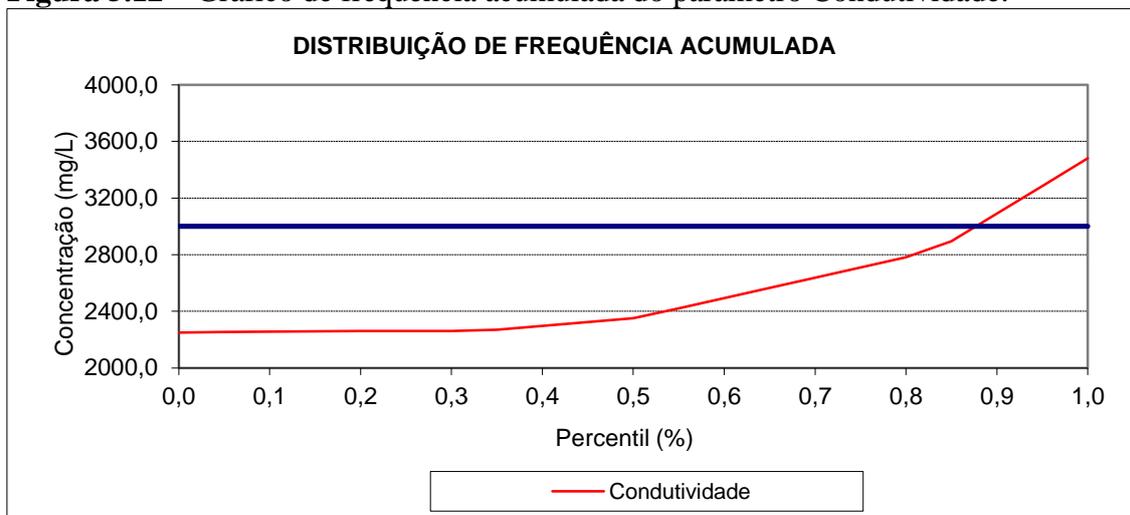
Analisando a distribuição de frequência das amostras apresentada na **Figura 5.12**, observa-se que 85% estavam dentro do limite estabelecido pela portaria n° 154/02 da SEMACE.

Figura 5.11 – Box-plot do parâmetro Condutividade.



Fonte: O autor (2016).

Figura 5.12 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Condutividade.



Fonte: O autor (2016).

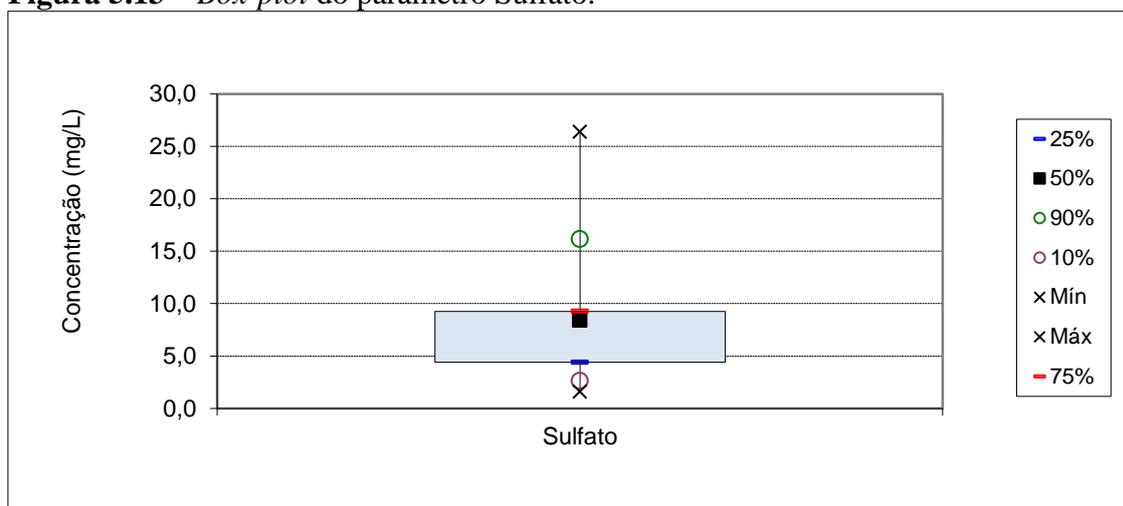
5.3.7. Sulfato

A **Figura 5.13** mostra o gráfico *box-plot* das concentrações efluentes de sulfato. Observa-se que este parâmetro teve grande variação, apresentando coeficiente de variação de 90%.

Entretanto, mesmo com a dispersão dos dados os valores das concentrações das amostras atendem em 100% os limites estabelecidos pela legislação vigente, como pode ser observado o gráfico de distribuição de frequência apresentado na **Figura 5.14**.

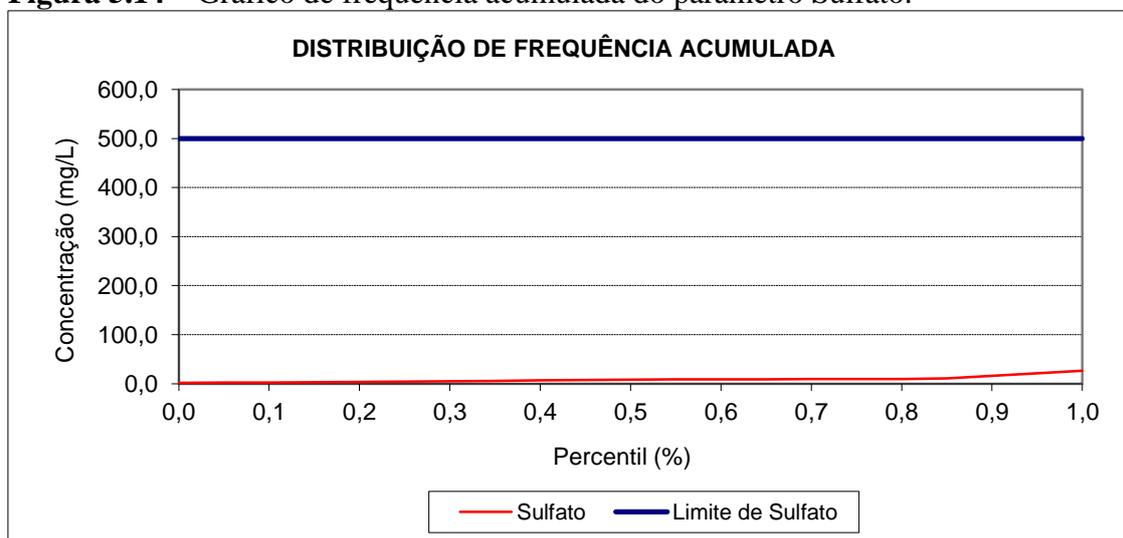
O parâmetro sulfato apresentou um limite máximo de 26,37 mg/L e mínimo de 1,6 mg/L com valor médio de 9,0 mg/L e desvio padrão de 8,3 mg/L.

Figura 5.13 – Box-plot do parâmetro Sulfato.



Fonte: O autor (2016).

Figura 5.14 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Sulfato.



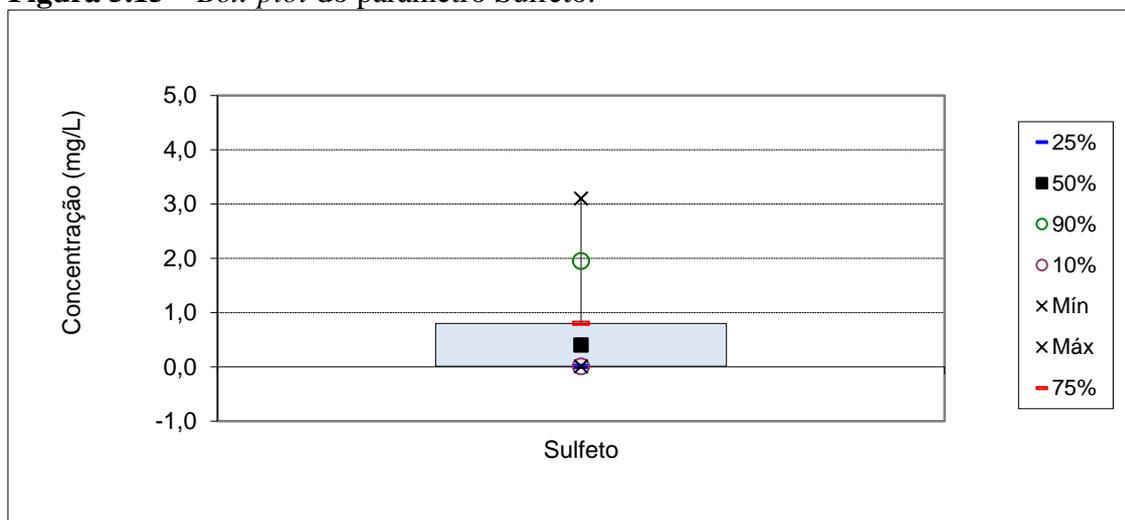
Fonte: O autor (2016).

5.3.8. Sulfeto

O parâmetro sulfeto apresentou grande variação nos valores dos efluentes analisados, obtendo um coeficiente de variação de 152%. A média da concentração é de

1,0 mg/L. O valor máximo é de 3,1 mg/L e o mínimo de 0,01 mg/L. Os valores foram plotados no gráfico do tipo *box-plot* e apresentados na **Figura 5.15**.

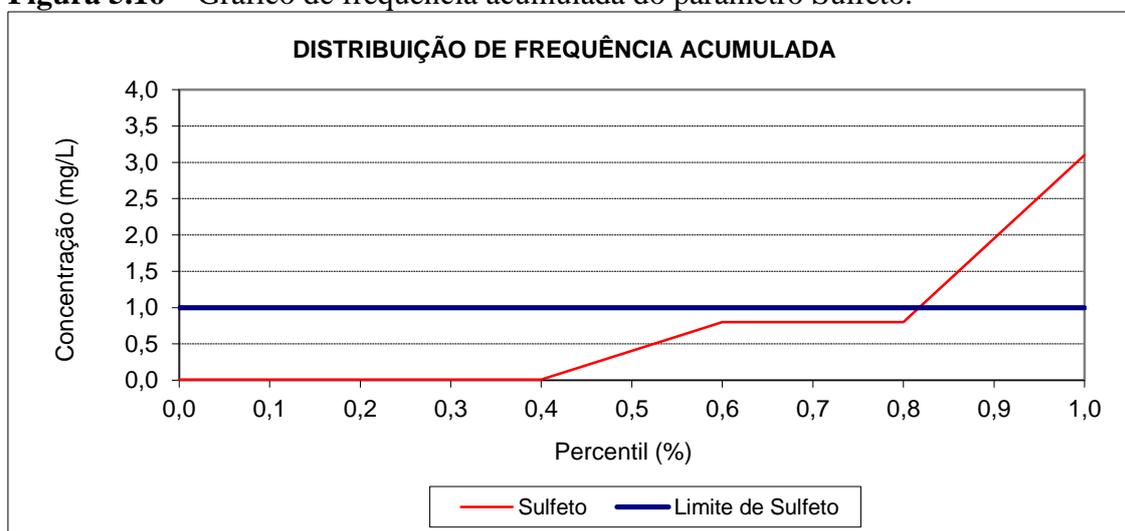
Figura 5.15 – *Box-plot* do parâmetro Sulfeto.



Fonte: O autor (2016).

A **Figura 5.16** traz a distribuição de frequência acumulada dos resultados da análise de sulfeto do efluente da ETEI. Cerca de 80% dos valores estiveram abaixo do máximo permitido pela legislação.

Figura 5.16 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Sulfeto.



Fonte: O autor (2016).

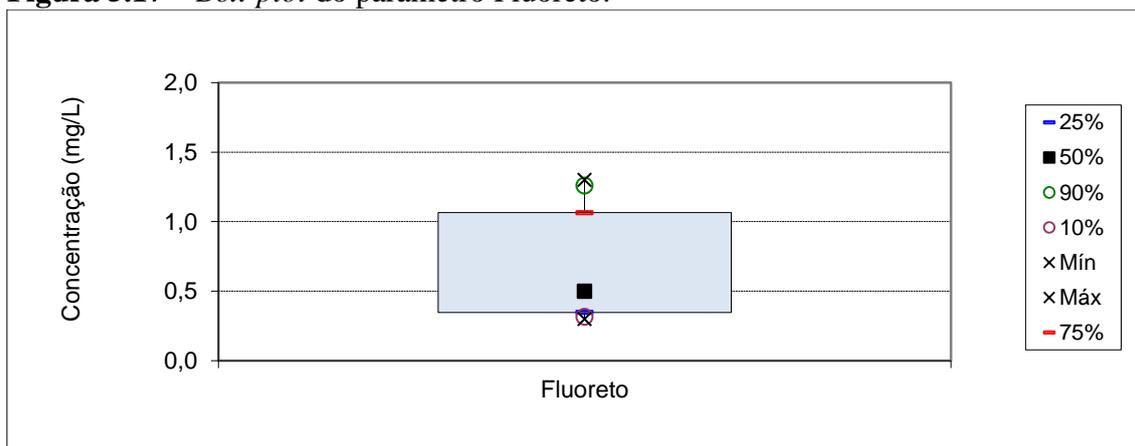
5.3.9. Fluoreto

Os valores de fluoreto encontrados variaram muito, possuindo um coeficiente de variação de 0,66. A média encontrada é de 1,0 mg/L e os valores máximo

e mínimo são de 1,3 e 0,3 mg/L, respectivamente, como apresentado no gráfico *box-plot* da **Figura 5.17**.

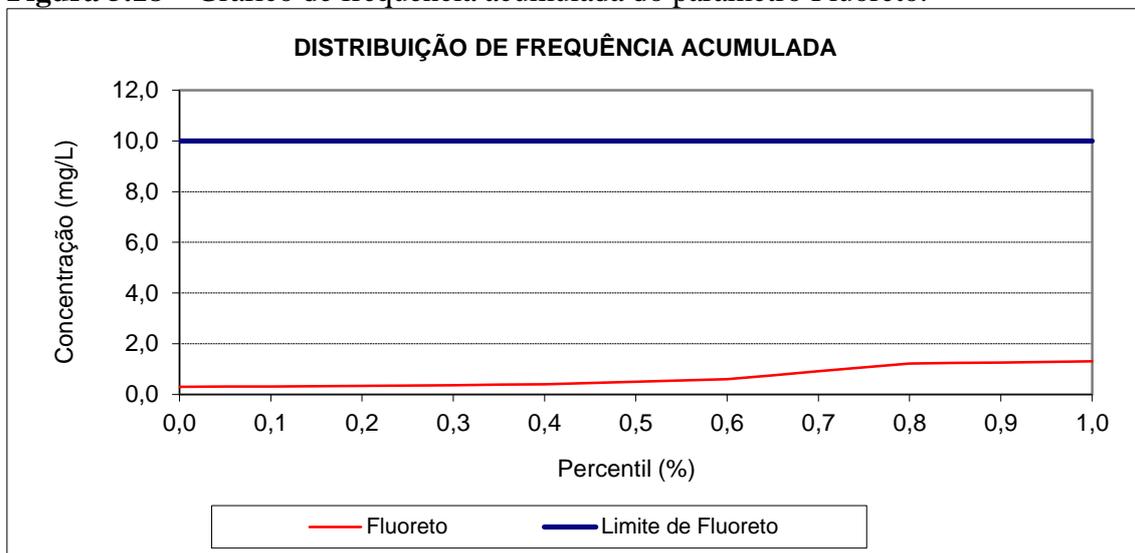
Analisando a distribuição de frequência das amostras conforme a **Figura 5.18**, observa-se que mesmo com a dispersão 100% dos valores estavam dentro do limite estabelecido pela portaria nº 154/02 da SEMACE.

Figura 5.17 – *Box-plot* do parâmetro Fluoreto.



Fonte: O autor (2016).

Figura 5.18 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro Fluoreto.



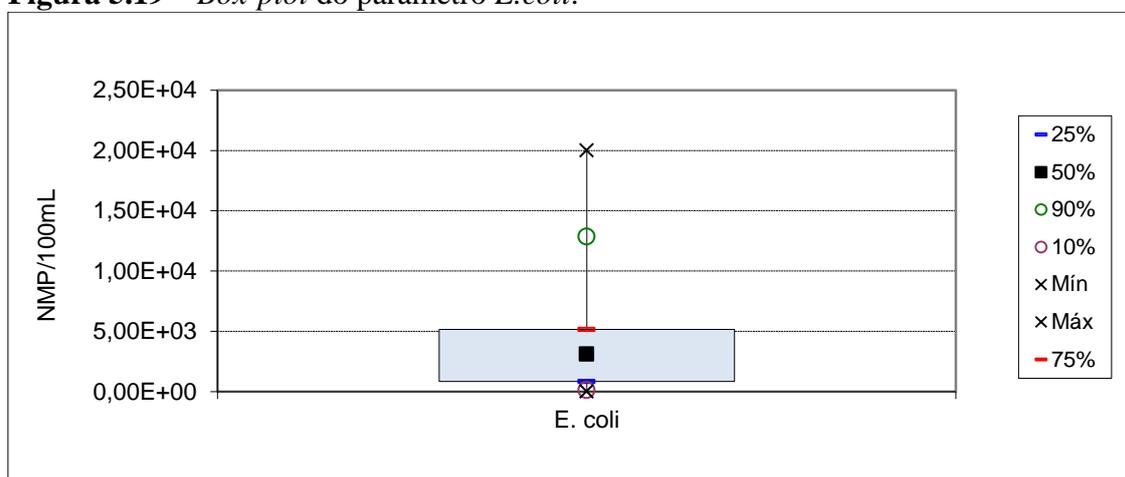
Fonte: O autor (2016).

5.3.10. *E. coli*

O parâmetro *E. coli* apresentou um elevado coeficiente de variação de 140% e uma grande amplitude entre os valores máximo e mínimo de 20.000 e 1,0 NMP/100mL, respectivamente.

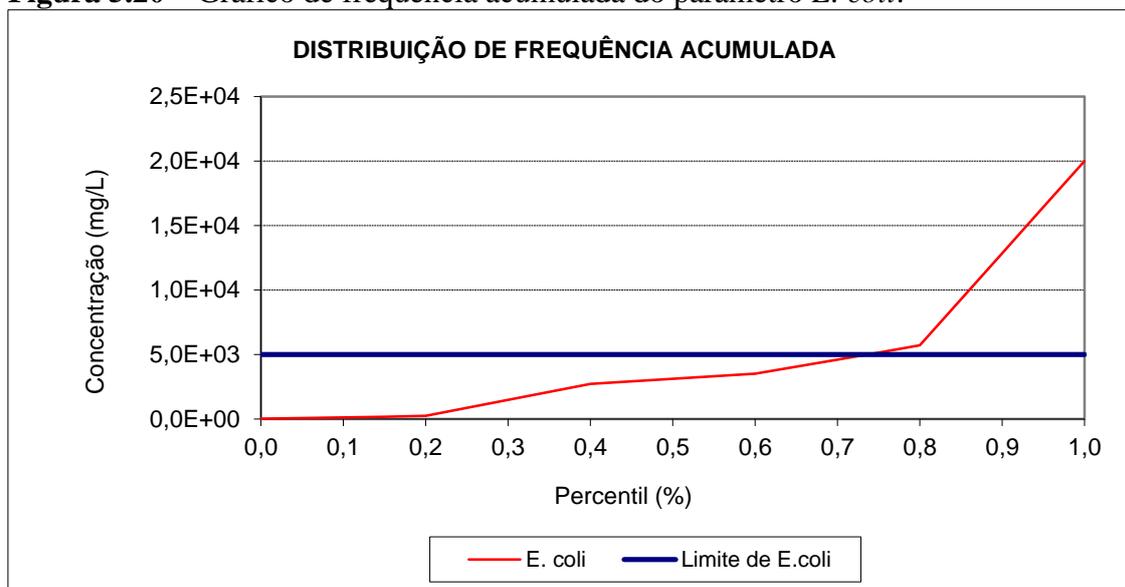
O gráfico apresentado na **Figura 5.19** revela que 75% das amostras possuem valor próximo a média de 5.354 NMP/100mL. Analisando a distribuição de frequência das amostras (**Figura 5.20**), observa-se que aproximadamente 70% dos valores encontrados estavam dentro do limite estabelecido pela portaria nº 154/02 da SEMACE.

Figura 5.19 – *Box-plot* do parâmetro *E. coli*.



Fonte: O autor (2016).

Figura 5.20 – Gráfico de frequência acumulada do parâmetro *E. coli*.



Fonte: O autor (2016).

5.3.11. Percentual Esperado de Atendimento à Legislação

A **Tabela 5.5** traz o resultado do estudo, observa-se que os menores percentuais de atendimento são dos parâmetros DQO (53,2%), SST (0,3%), Amônia (0,2%). Para que a legislação fosse atendida em 95% do tempo a estação de tratamento deveria ser projetada para que as concentrações médias efluentes desses parâmetros fossem de 88,18 mg/L, 67,95 mg/L, 2,93 mg/L, respectivamente.

Utilizando o parâmetro DQO para exemplificar análise dos dados, a ETEI tem 53,2% de probabilidade de gerar um efluente com concentração de DQO abaixo do limite estabelecido pela legislação vigente. Isto significa que para cumprir o padrão de lançamento para DQO em 95% do tempo, a concentração efluente média para esse parâmetro deverá ser 88,18 mg/L.

Os parâmetros com maior percentual esperado de atendimento foram DBO, Sulfato e Fluoreto, com 100% e o pH 99,5%.

Tabela 5.5 – Média, Coeficiente de Variação, Coeficiente de Confiabilidade, Concentração de Projeto e atendimento a legislação das amostras com confiabilidade de 95% de atendimento ao padrão.

Parâmetros		pH	DQO	DBO	SST	Amônia	Condutividade	Sulfato	Sulfeto	Fluoreto	<i>E.coli</i>
		-	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µS/cm	mg/L	mg/L	mg/L	NMP/100mL
Concentrações efluentes esperadas para que 95% dos resultados atendam à meta	Média das concentrações efluentes (μ)	8,7	229,67	10,33	895,5	15,3	2574	9	0,79	1	7,09E+02
	Desvio padrão das concentrações efluentes (δ)	0,5	154,66	6,28	572,7	5,8	454	8	1,20	0,5	7484
	Concentração efluente especificada na legislação (X_s)	10	200	60	150	5	3000	500	1	10	5000
	Coeficiente de variação (CV)	0,06	0,67	0,61	0,64	0,38	0,18	0,90	1,52	0,66	9,48
	Coeficiente de confiabilidade (CDC)	0,913	0,441	0,465	0,453	0,586	0,761	0,379	0,301	0,447	0,290
	m_x	9,13	88,18	27,91	67,95	2,93	2283,89	189,54	0,30	4,47	1449,02
Percentual esperado de atingir os limites de lançamento	Percentual esperado de atendimento às metas de lançamento adotadas (1-α) %	99,5	53,2	100,0	0,3	0,2	83,2	100,0	77,8	100,0	97,3

Fonte: O autor (2016).

5.4. Análise da Alteração no Grau de Atendimento a Legislação Por Meio de Modificações no Nível de Restrição dos Parâmetros.

Por meio do Inventário de Lançamento de Efluentes, realizou-se uma comparação dos parâmetros da indústria de laticínios estudada que estão com baixos índices de atendimento a legislação vigente no estado do Ceará com os limites menos restritivos estabelecidos por outras legislações brasileiras, conforme **Tabela 5.6**.

Dessa forma, percebe-se que os parâmetros de DQO e Amônia obtiveram um expressivo aumento no atendimento a meta estipulada, adotando o mesmo nível de confiabilidade no sistema de 95%.

O parâmetro de SST mesmo com o aumento do limite de concentração permitido para 180 mg/L não obteve aumento significativo no atendimento à meta. Isso se deve ao fato, como observado pela caracterização do efluente, das elevadas concentrações presentes desse parâmetro no efluente de descarte.

Nota-se que o estado do Ceará pode ser considerado restritivo em relação ao parâmetro de DQO, SST e Amônia, dificultando o cumprimento dos limites estabelecidos.

Tabela 5.6 – Comparação entre as Características do Efluente da Indústria X com as Recomendações Adotadas para Reúso em Irrigação.

Parâmetros	Limite Adotado no Ceará (mg/L)	Atendimento ao Limite adotado no Ceara (%)	Legislações Menos Restritivas	Limites Menos Restritivos (mg/L)	Atendimento ao Limite Menos Restritivo (%)
DQO	200	53,2	MG	250	67,2
			PE	360	85,1
			RS	400	88,7
SST	150	0,3	RJ, RS	180	0,7
NH ₃	5,0	0,2	CONAMA, MT, RS.	20	82,0

Fonte: O autor (2016).

5.5. Inventário de Diretrizes e Recomendações para Reúso em Irrigação

As Tabelas 5.7 a 5.8 resumem as informações sobre diretrizes e recomendações de reúso em irrigação obtidas pelo levantamento bibliográfico. Ressalta-se que essas informações são critérios e recomendações encontrados na literatura existente e não constituem um instrumento legislativo e obrigatório a ser seguido.

No entanto, como já discutido, é importante que se estabeleçam em nível de legislação padrões de reúso para irrigação; bem como para as outras diversas atividades que utilizem efluentes tratados.

Contudo, para isso, os aspectos locais, como condições climáticas, econômicas, territoriais e sociais devem ser considerados, visando à satisfação e proteção dos usuários; bem como, a preservação do meio ambiente.

Tabela 5.7 – Resumo dos Parâmetros e Recomendações para Reúso de Efluentes em Irrigação apresentados.

Parâmetros	Unidade	Grau de Restrição para Uso		
		Nenhuma	Ligeira e Moderada	Severa
Toxicidade de Íons Específicos				
Boro (B^{3+})	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Bicarbonato (HCO_3^-)	mg/L	< 90	90-250	> 250
Carbonato (CO_3^{2-})	mg/L	< 3	3 – 6	> 6
Cloro Residual	mg/L	< 1,0	1,0-5,0	> 5,0
Sulfato (SO_4^{2-})	mg/L	< 480	480 – 1440	> 1440
Cloreto (Cl)				
Irrigação por Superfície	mg/L	< 142	142 – 355	> 355
Irrigação por Aspersão	mg/L	< 106	> 106	
Sódio (Na^+)				
Irrigação por Superfície	RAS	< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Irrigação por Aspersão	mg/L	< 70	70 – 180	> 200
pH	Faixa Recomendada: 6,5 – 8,4			
Efeitos na Qualidade				
Amônia (NH_3)	mg/L	0 - 5		> 5
Cálcio (Ca)	mg/L	< 100	100 – 200	> 200
Ca/Mg	-	> 1		< 1
Ca + Mg	mg/L	< 161	161 – 483	> 483
Magnésio (Mg)	mg/L	< 63	> 63	
Fosforo (P)	mg/L	0 – 2		> 2
Nitrato (NO_3^-)	mg/L	0 - 10		> 10
Nitrogênio (N)	mg/L	< 5	5-30	> 30
Problemas de Obstrução em Sistemas de Irrigação				
pH	-	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos Dissolvidos	mg/L	< 500	500 – 2000	> 2000
Sólidos Suspensos	mg/L	< 50	50 – 100	> 100

Manganês	mg/L	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Ferro Total	mg/L	< 0,2	0,2 – 1,5	> 1,5
Dureza	mg/L	< 150	150 – 300	> 300
Ácido Sulfúrico	mg/L	< 0,5	0,5 – 2,0	> 1,5
Bactérias Heterotróficas	org/L	< 10.000	10.000–50.000	> 50.000
Salinidade				
CE	µS/m	< 750	750 – 1500	> 1500
SDT	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltração				
RAS		CE (dS/m)		
0 a 3		> 0,7	0,7 a 0,2	< 0,2
3 a 6		> 1,2	1,2 a 0,3	< 0,3
6 a 12		> 1,9	1,9 a 0,5	< 0,5
12 a 20		> 2,9	2,9 a 1,3	< 1,3
20 a 40		> 5,0	5,0 a 2,9	< 2,9
Proteção à Saúde Humana				
DBO	mg/L	≤ 10	10 - 30	≥ 30
Coliformes Termotolerantes	CTer/100mL	≤ 1000	1000 - 5000	≥ 5000
Ovos de Geohelmintos	Ovo/L	≤ 1		≥ 1

Fonte: O autor (2016).

Tabela 5.8 – Resumo dos Parâmetros e Recomendações para Reúso de Efluentes em Irrigação apresentados nesse estudo (Continuação).

Elementos	Unidade	Grau de Restrição para Uso	
		Em Longo Prazo	Em Curto Prazo
Efeitos Diversos			
Alumínio	mg/L	5,0	20,0
Arsênio	mg/L	0,10	2,0
Berílio	mg/L	0,10	0,5
Boro	mg/L	0,75	2,0
Cádmio	mg/L	0,01	0,05
Chumbo	mg/L	5,0	10,0
Cobalto	mg/L	0,05	5,0
Cobre	mg/L	0,20	5,0
Cromo	mg/L	0,10	1,0
Ferro	mg/L	5,0	20,0
Fluoreto	mg/L	1,0	15,0
Lítio	mg/L	2,5	2,5
Manganês	mg/L	0,20	10,0
Molibdênio	mg/L	0,01	0,05
Níquel	mg/L	0,20	2,0
Selênio	mg/L	0,02	0,02
Vanádio	mg/L	0,10	1,0
Zinco	mg/L	2,0	10,0

Fonte: O autor (2016).

5.6. Análise do Efluente em Relação às Diretrizes e Recomendações Propostas para Reúso em Irrigação

Realizou-se uma comparação entre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente da indústria estudada com as recomendações adotadas, segundo o levantamento bibliográfico, para a prática de reúso em irrigação, conforme pode ser observado na **Tabela 5.9**.

Para essa comparação utilizou-se a concentração média das concentrações efluentes dos parâmetros de interesse e diretrizes de reúso considerando limites com intermediário nível de restrição, visando a possibilidade de cumprimento das recomendações propostas.

Tabela 5.9 – Comparação entre as Características do Efluente da Indústria X com as Recomendações Adotadas para Reúso em Irrigação.

Parâmetros - Caracterização	Unidades	Indústria X (Média)	Recomendação Adotadas	Fonte
pH	-	8,7*	6,5 – 8,4	Ayers
DBO _{FILTRADA}	mg/L	10,33	≤ 30	USEPA
SST	mg/L	895,5	≤ 100	USEPA
SDT	mg/L	1.295,5	≤ 450	Ayers
Amônia	mg/L	15,30	≤ 5	Ayers
Nitrato	mg/L	1,37	≤ 10	Mota
Nitrogênio Total	mg/L	-	≤ 30	Ayers
Fósforo Total	mg/L	20,24	≤ 2	Ayers
Sulfato	mg/L	9,10	≤ 960	Ayers
Fluoreto	mg/L	0,69	1,0	USEPA
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	53,3	< 150	Nakayama
Cloretos	mg/L	201,67	≤ 140	Ayers
Condutividade	µS/cm	2.574,43	3.000	SEMACE
Cálcio	mg/L	37	< 100	Nuvolari
Magnésio	mg/L	-	< 63	Nuvolari
Sódio	mg/L	609,9	< 70	Ayers
Sódio	RAS	-	< 3	Ayers
Alumínio	mg/L	-	≤ 5,0	USEPA
Boro	mg/L	-	≤ 0,7	USEPA
Cádmio	mg/L	-	≤ 0,010	USEPA
Chumbo	mg/L	-	≤ 5,0	USEPA
Cromo	mg/L	-	≤ 0,050	USEPA
Níquel	mg/L	-	≤ 0,2	USEPA
Zinco	mg/L	-	≤ 2,0	USEPA
Coliformes Fecais	NMP/100mL	6,9x10⁶	1.000 5.000	SEMACE
Ovos de Helmintos	Ovo/L	ND	≤ 1	SEMACE

Fonte: O autor (2016).

*Valor da concentração acima das recomendações para reúso em irrigação.

Nota-se que alguns parâmetros do efluente não atendem as recomendações adotadas para reúso em irrigação, a saber, pH, Sólidos Suspensos Totais, Sólidos Dissolvidos Totais, Amônia, Cloretos, Sódio e Coliformes. Com efeito, não se recomenda a utilização do efluente tratado para a prática de irrigação devido ao risco de salinização do solo.

6. CONCLUSÃO

O efluente da indústria de laticínios estudada não atende ao padrão de qualidade exigido para alguns parâmetros estipulados pela Portaria da SEMACE nº 154/02, como DQO, SST e amônia.

Por meio do Inventário de Padrões de Lançamento de Efluentes e do estabelecimento de níveis de restrição, verificou-se que vários dos limites estabelecidos pela Portaria da SEMACE nº 154/02 encontram-se classificados como muito restritivos ou restritivos, se configurando como um empecilho ao atingimento dos padrões estabelecidos.

Utilizando limites menos restritivos adotados por outros estados brasileiros, como RS, PE, RJ, MG, apurou-se que os parâmetros com baixo atendimento, DQO e Amônia, obtiveram um expressivo aumento no atendimento à meta estipulada.

Entretanto, mesmo com a menor restrição de concentração, o parâmetro SST não obteve aumento significativo no atendimento à meta. Isso se deve ao fato das elevadas concentrações presentes desse parâmetro no efluente dos sistemas de lagoas de estabilização.

Constatou-se também que alguns parâmetros não atendem as recomendações adotadas para reúso em irrigação, a saber, pH, SST, SDT, Amônia, Cloretos, Sódio e *E. coli*. Com efeito, não se recomenda a utilização do efluente tratado para a prática de irrigação devido ao risco de salinização do solo e a falta de amparo legal.

Ressalta-se a importância de uma revisão dos critérios atuais adotados de padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos no estado do Ceará, assim como, o estabelecimento, em nível federal e estadual, de legislações que definam padrões de reúso a serem seguidos em diversas atividades.

7. RECOMENDAÇÕES

Como recomendações para estudos posteriores nesta indústria de laticínios, citam-se:

- a) Verificar os possíveis problemas estruturais e operacionais da ETEI os quais influenciam na diminuição da eficiência de remoção de poluentes e que possam estar causando o não atendimento da legislação vigente;
- b) Realizar novos estudos de eficiência e confiabilidade utilizando mais amostras.
- c) Caracterizar o Corpo Hídrico Receptor e a influência do lançamento de efluentes da indústria em qualidade físico-química e microbiológica;
- d) Indicar a indústria possíveis tratamentos complementares para a geração de um efluente com qualidade compatível com as atividades propostas e as características preconizadas na legislação vigente;
- e) Realizar a análise e o estudo de mais parâmetros de qualidade do efluente, como a Dureza Total e o Magnésio, visando o cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), e a elaboração de estudos mais detalhados sobre reúso em irrigação;
- f) Estudar a possibilidade de reúso em outras atividades da indústria.

8. BIBLIOGRAFIA

- ALAGOAS (1985). DECRETO N° 6.200, de 01 de Março de 1985. Estabelece medidas de proteção ambiental na área de implantação do Pólo Cloroquímico de Alagoas e dá outras providências. AL. 1985.
- ALMEIDA, O. A. de. Qualidade da água de irrigação. 1. ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. RJ. 1997.
- AYERS, R. S.; Westcot, D.W. A qualidade de água na agricultura. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem.
- BRASIL (2005). CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. RESOLUÇÃO N° 54, de 28 de Novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília. DF.
- BRASIL. (2005). CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 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.
- BRASIL. (2011). CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 4307, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução n° 357, de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília. DF.
- CECA. Conselho Estadual de Controle Ambiental. DELIBERAÇÃO N° 36, de Junho de 2012. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento; bem como, estabelece as diretrizes,

condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado do Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. MS. 2012.

CEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 70, de 01 de Outubro de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências para empreendimentos industriais. PR. 2009.

CEPRAM. Conselho Estadual de Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 2.288, de 28 de Abril de 2000. Aprova a Norma Técnica NT 002/2000, que estabelece os padrões de lançamento para efluentes sanitários nos corpos hídricos situados na Região Metropolitana de Salvador – RMS e demais municípios do Estado da Bahia, gerados a partir da implantação de empreendimentos imobiliários habitacionais. BA. 2000.

COMDEMA. Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente de Vitória. RESOLUÇÃO N° 02, de 1991. Estabelece critérios e padrões para o controle da poluição dos recursos hídricos no município de Vitória. Vitória, ES. 1991.

COMDEMA. Conselho Municipal de Desenvolvimento e Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 34, de 27 de Julho de 2012. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, condições para lançamento de efluentes e dá outras providências. Manaus, AM. 2012.

CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 128, de 07 de Dezembro de 2006. Dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul. RS. 2006.

CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO N° 55, de 21 de Junho de 2012. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes tratados oriundos de estação de tratamento de esgoto doméstico em galerias de águas pluviais no âmbito do estado de Mato Grosso, e dá outras providências. MT. 2012.

COPAM. Conselho Estadual de Política Ambiental. CERH. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais. DELIBERAÇÃO NORMATIVA CONJUNTA COPAM/CERH N° 01, de 05 de Maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. MG. 2008.

- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. NORMA TÉCNICA N° 2.001. Controle de carga orgânica em efluentes líquidos industriais – estabelece critérios e padrões de emissão que resultem na redução da carga industrial lançada direta ou indiretamente nos recursos hídricos do estado de Pernambuco. PE. 2001.
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. NORMA TÉCNICA N° 2.002. Avaliação de parâmetros para descarga de efluentes líquidos industriais e domésticos. PE. 2002.
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente. NORMA TÉCNICA N° 2.007. Coliformes termotolerantes – Padrões de Lançamento para efluentes domésticos e/ou industriais – estabelecer o NMP máximo de coliformes termotolerantes (CTer) permitidos para lançamento de efluentes domésticos ou industriais nos corpos de água receptores. PE. 2007.
- CROOK, J. Critérios de qualidade de água para reúso. Revista DAE-SABESP, n°. 174, nov./dez. 1993.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lacteos – Serie P+L. Sao Paulo, 2006. 89p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/laticinio.ppd>.
- DOMINATO, D. T. Tratamento de efluente anaeróbico: condicionamento em filtro de areia visando lançamento e reúso. 2011. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de saneamento e ambiente, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2011.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Guia técnico ambiental da indústria de laticínios. 2014.
- FEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. NORMA TÉCNICA 202.R-10, de 1986. Estabelece critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP. RJ. 1986.
- FEEMA. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. NORMA TÉCNICA 215.R-4, de 2007. Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária - estabelece exigências de controle de poluição das águas que

resultem na redução de carga orgânica biodegradável de origem sanitária, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras – SLAP. RJ. 2007.

FERNANDES, V. M. C. Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos.

FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Laticínios. Minas Gerais, 2014. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/producao_sustentavel/GUIAS_TECNICOS_AMBIENTAIS/guia_laticinios.pdf>.

GIL, A.S.L. Caracterização do efluente de ETE de abatedouro visando reúso. Passo Fundo. RS. 2010.

GOIÁS (1979). DECRETO ESTADUAL N° 1.745, de 06 de Dezembro de 1979. Aprova o Regulamento da Lei n° 8.544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. GO. 1979.

MACHADO, R.M.G.; FREIRE, V.H.; SILVA, P.C.; FIGUERÊDO, D.V.; FERREIRA, P.E. Controle ambiental nas pequenas e médias indústrias de laticínios. Projeto Minas Ambiente, Belo Horizonte, 224p., 2002.

MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B; et al. Reúso de águas em irrigação e piscicultura. 2007.

NAKAYAMA, F. S; BUCKS, D. A. Trickle irrigation for crop production: design, operation and management. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986.

NUVOLARI, A. et al. Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. São Paulo. SP. 2003.

OLIVEIRA, S. C; VON SPERLING, M. Análise da confiabilidade de estações de tratamento de esgotos. Engenharia sanitária e ambiental, v. 12, n. 4, p. 389-398, out./dez. 2007.

SANTA CATARINA (1981). DECRETO ESTADUAL N° 14.250, de 05 de Junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei n° 5.793, de 15 outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental. SC. 1981.

SANTA CATARINA (2009). LEI ESTADUAL N° 14.675, de 13 de Abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. SC. 2009.

- SÃO PAULO (1976). DECRETO ESTADUAL N° 8.468, de 08 de Setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. SP. 1976.
- SEDAM. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. DECRETO N° 7.903 de 01 de Julho de 1997. Regulamenta a Lei n° 547, de 30 de dezembro de 1993, que dispõe sobre proteção, recuperação, controle, fiscalização da qualidade do meio ambiente no Estado de Rondônia. RO. 1997.
- SEMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. RESOLUÇÃO N° 21, de 22 de Abril de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. PR. 2009.
- SEMA. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais. PORTARIA N° 79, de 04 de Julho de 2013. São Luís. MA. 2013.
- SEMACE. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. PORTARIA N° 154, de 22 de Julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. CE. 2002.
- SILVA, M. C; HERNANDEZ, F. B. T. Avaliação química da qualidade de água para fins de irrigação em micro bacia degradada.
- SILVEIRA, A.G.M. Análise de Eficiência e Confiabilidade em Sistemas de Baixo Custo de Tratamento do Tipo Lagoas de Estabilização. CE. 2011.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for Water Reuse. 2012.
- UCKER, F. E. et al. Elementos interferentes na qualidade da água para irrigação. Rev. Elet. Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170). V. 10, n. 10, p. 2102-2111, jan./abr. 2013.
- VON SPERLING, M. Análise os padrões de qualidade de corpos d'água e de lançamento de efluentes líquidos. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 3, n. 1, p. 111-132, jan./mar. 1998.

VEROL, A. P; VOLSCHAN JR, I. Inventário e Análise de Padrões de Lançamento de Esgotos Sanitários: Visão Nacional e Internacional. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. (2011).

ANEXOS

ANEXO A – VALORES DE CARACTERIZAÇÃO DOS ESGOTOS

Resultados de Análises de Caracterização do Efluente da Indústria X, Maio de 2015.

Parâmetros - Caracterização Físico- Química	Unidades	Amostra 01 Afluente	Amostra 02 Efluente	Remoção Global (%)	Portaria SEMACE N° 154/02	Resolução CONAMA N° 430/11
Temperatura	°C	-	-	-	< 40	< 40
pH	-	6,93	9,11	- 31,5	7,5 - 10	5 - 9
Matéria Orgânica						
DQO _{total}	mg/L	857	102	88,1	200	-
DQO _{filtrada}	mg/L	265	66	75,1	200 ¹	-
DBO _{total}	mg/L	276	24	91,3	60	120 ² > 60%
DBO _{filtrada}	mg/L	-	-	-	60 ¹	120 ^{1,2} > 60%
Sólidos e Materiais Flutuantes						
Materiais Sedimentáveis	mL/L	1,0	1,0	-	1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência	-	Ausência	Ausência
Substâncias Solúveis em Hexano	mg/L	-	-	-	-	100,0 ²
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Minerais	mg/L	-	-	-	20,0	20,0
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Vegetais	mg/L	-	-	-	50,0	50,0
Sólidos Totais	mg/L	19.344	3.972	79,5	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	4.616	194*	95,8	100,0 50,0 ²	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	14.728	3.778	74,3	-	- ³
Turbidez	uT	92	59	35,9	-	-
Principais Nutrientes Causadores de Eutrofização						
Amônia	mg/L	8,0	3,2	60,0	5,0 20,0 ⁴	20,0 ⁵
Nitrato	mg/L	14,1	1,2	91,5	-	-
Nitrito	mg/L	< 0,01	0,01	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	-	-	-	-	-
Fosfato	mg/L	45,6	25,1	45,0	-	-
Outros Ânions de Interesse						
Sulfato	mg/L	10,6	8,4	20,8	500,0	- ³
Sulfeto	mg/L	< 0,01	< 0,01	-	1,0	1,0
Fluoreto	mg/L	24,5	0,3	98,8	10,0	10,0
Reúso em Irrigação						
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	19,1	16,9	11,5	-	-

Cloretos	mg/L	111,8	173,7	-55,4	-	-
Condutividade	µS/cm	825	2.261	-174,1	< 3.000 ^{6,7}	-
Sódio	mg/L	109,7	403,5	-267,8	-	-
Potássio	mg/L	76,8	41,7	45,7	-	-
Metais Pesados						
Alumínio	mg/L	-	-	-	-	-
Boro	mg/L	-	-	-	-	5,0
Cádmio	mg/L	-	-	-	0,2	0,2
Chumbo	mg/L	-	-	-	0,5	0,5
Cromo	mg/L	-	-	-	0,5	0,1
Níquel	mg/L	-	-	-	2,0	2,0
Zinco	mg/L	-	-	-	5,0	5,0
Caracterização Bacteriológica						
Coliformes Totais	NMP/100mL	4,1 x 10 ⁵	1,7 x 10 ³	99,6	-	-
E. coli	NMP/100mL	4,7 x 10 ⁴	2,3 x 10 ²	99,5	< 1.000 ⁶ < 5.000 ⁷	-
Ovos de Helminthos	Ovo/L	-	-	-	< 1 ^{6,7}	-

Fonte: Indústria X (2015).

Resultados de Análises de Caracterização do Efluente da Indústria X, Junho de 2015.

Parâmetros - Caracterização Físico-Química	Unidades	Amostra 01 Afluente	Amostra 02 Efluente	Remoção Global (%)	Portaria SEMACE N° 154/02	Resolução CONAMA N° 430/11
Temperatura	°C	-	-	-	< 40	< 40
pH	-	4,08	8,50	- 108,3	7,5 - 10	5 - 9
Matéria Orgânica						
DQO_{total}	mg/L	2.714	264	90,3	200	-
DQO_{filtrada}	mg/L	1.212	164	86,5	200 ¹	-
DBO_{total}	mg/L	60	12	80,0	60	120 ² > 60%
DBO_{filtrada}	mg/L	54	11	77,8	60 ¹	120 ^{1,2} > 60%
Sólidos e Materiais Flutuantes						
Materiais Sedimentáveis	mL/L	1,0	1,0	-	1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência	-	Ausência	Ausência
Substâncias Solúveis em Hexano	mg/L	-	-	-	-	100,0 ²
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Minerais	mg/L	-	-	-	20,0	20,0
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Vegetais	mg/L	-	-	-	50,0	50,0
Sólidos Totais	mg/L	11.397	1.878	83,5	-	-
Sólidos Suspensos	mg/L	9.162	1.620	82,3	100,0	-

Totais					50,0 ²	
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	2.235	258	88,5	-	- ³
Turbidez	uT	8,0	47,5	-493,8	-	-
Principais Nutrientes Causadores de Eutrofização						
Amônia	mg/L	10,5	21,0	-100	5,0 20,0 ⁴	20,0 ⁵
Nitrato	mg/L	1,2	0,9	25	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	9,4	9,1	3,2	-	-
Fosfato	mg/L	92,5	33,4	63,9	-	-
Outros Ânions de Interesse						
Sulfato	mg/L	24,4	9,19	62,3	500,0	- ³
Sulfeto	mg/L	< 0,01	< 0,01	-	1,0	1,0
Fluoreto	mg/L	93,9	0,6	99,4	10,0	10,0
Reúso em Irrigação						
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	133,0	83	37,6	-	-
Cloretos	mg/L	324,3	193	40,5	-	-
Condutividade	µS/cm	7.190	2.590,0	64,0	< 3.000 ^{6,7}	-
Sódio	mg/L	1.900,0	660,0	65,3	-	-
Potássio	mg/L	150,0	50,0	66,7	-	-
Cálcio	mg/L	48,0	34,0	29,2	-	-
Metais Pesados						
Alumínio	mg/L	< L.D	< L.D	-	-	-
Ferro	mg/L	0,25	< L.D	-	-	-
Boro	mg/L	< L.D	< L.D	-	-	5,0
Cádmio	mg/L	< L.D	< L.D	-	0,2	0,2
Chumbo	mg/L	< L.D	< L.D	-	0,5	0,5
Cromo	mg/L	< L.D	< L.D	-	0,5	0,1
Níquel	mg/L	< L.D	< L.D	-	2,0	2,0
Zinco	mg/L	0,38	< L.D	-	5,0	5,0
Caracterização Bacteriológica						
Coliformes Totais	NMP/100mL	Ausente	> 2,4 x 10 ³	-	-	-
E. coli	NMP/100mL	Ausente	1,0	-	< 1.000 ⁶ < 5.000 ⁷	-
Ovos de Helmintos	Ovo/L	-	-	-	< 1 ^{6,7}	-

Fonte: Indústria X (2015).

Resultados de Análises de Caracterização do Efluente da Indústria X, Julho de 2015.

Parâmetros - Caracterização Físico-Química	Unidades	Amostra 01 Afluente	Amostra 02 Efluente	Remoção Global (%)	Portaria SEMACE N° 154/02	Resolução CONAMA N° 430/11
Temperatura	°C	-	-	-	< 40	< 40
pH	-	4,42	8,27	- 87,10	7,5 - 10	5 - 9
Matéria Orgânica						
DQO_{total}	mg/L	7.725	257	96,7	200	-
DQO_{filtrada}	mg/L	3.514	57	98,4	200 ¹	-
DBO_{total}	mg/L	2.311	79	96,6	60	120 ²

						> 60%
DBOfiltrada	mg/L	980	5	99,5	60 ¹	120 ^{1,2} > 60%
Sólidos e Materiais Flutuantes						
Materiais Sedimentáveis	mL/L	1,0	1,0	-	1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência	-	Ausência	Ausência
Substâncias Solúveis em Hexano	mg/L	-	-	-	-	100,0 ²
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Minerais	mg/L	-	-	-	20,0	20,0
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Vegetais	mg/L	-	-	-	50,0	50,0
Sólidos Totais	mg/L	11.150	1.796	83,9	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	9.054	1.577	82,6	100,0 50,0 ²	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	2.096	219	89,6	-	- ³
Turbidez	uT	11	109	-890,9	-	-
Principais Nutrientes Causadores de Eutrofização						
Amônia	mg/L	5,2	16,7	-221,2	5,0 20,0 ⁴	20,0 ⁵
Nitrato	mg/L	0,7	1,1	-57,1	-	-
Nitrito	mg/L	3,7	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	9,5	9,0	5,3	-	-
Fosfato	mg/L	-	-	-	-	-
Outros Ânions de Interesse						
Sulfato	mg/L	18,31	26,37	-44	500,0	- ³
Sulfeto	mg/L	< 0,01	< 0,01	-	1,0	1,0
Fluoreto	mg/L	82,47	1,22	98,5	10,0	10,0
Reúso em Irrigação						
Dureza Total	mgCaCO₃/L	130	60	53,9	-	-
Cloretos	mg/L	1,39	156	-11123,0	-	-
Condutividade	µS/cm	1.528	2.350	-53,8	< 3.000 ^{6,7}	-
Sódio	mg/L	210	560	-166,7	-	-
Potássio	mg/L	140	50	64,3	-	-
Cálcio	mg/L	43	31	27,9	-	-
Metais Pesados						
Alumínio	mg/L	-	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-	-
Boro	mg/L	-	-	-	-	5,0
Cádmio	mg/L	< L.D	< L.D	-	0,2	0,2
Chumbo	mg/L	< L.D	< L.D	-	0,5	0,5

Cromo	mg/L	< L.D	< L.D	-	0,5	0,1
Níquel	mg/L	< L.D	< L.D	-	2,0	2,0
Zinco	mg/L	< L.D	< L.D	-	5,0	5,0
Caracterização Bacteriológica						
Coliformes Totais	NMP/100mL	5,7 x 10 ⁷	4,4 x 10 ⁷	22,8	-	-
E. coli	NMP/100mL	1,6 x 10 ⁷	Ausente	100	< 1.000 ⁶ < 5.000 ⁷	-
Ovos de Helmintos	Ovo/L	-	-	-	< 1 ^{6,7}	-

Fonte: Indústria X (2015).

Resultados de Análises de Caracterização do Efluente da Indústria X, Agosto de 2015.

Parâmetros - Caracterização Físico-Química	Unidades	Amostra 01 Afluente	Amostra 02 Efluente	Remoção Global (%)	Portaria SEMACE N° 154/02	Resolução CONAMA N° 430/11
Temperatura	°C	-	-	-	< 40	< 40
pH	-	9,7	9,6	0,93	7,5 - 10	5 - 9
Matéria Orgânica						
DQOtotal	mg/L	7.709	299	96,1	200	-
DQOfiltrada	mg/L	1.508	284	81,2	200 ¹	-
DBOtotal	mg/L	32	4	87,5	60	120 ² > 60%
DBOfiltrada	mg/L	28	2	92,9	60 ¹	120 ^{1,2} > 60%
Sólidos e Materiais Flutuantes						
Materiais Sedimentáveis	mL/L				1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência	-	Ausência	Ausência
Substâncias Solúveis em Hexano	mg/L	-	-	-	-	100,0 ²
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Minerais	mg/L	-	-	-	20,0	20,0
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Vegetais	mg/L	-	-	-	50,0	50,0
Sólidos Totais	mg/L	1.966	1.996	-1,5	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	480	336	30,0	100,0 50,0 ²	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1.486	1.660	-11,7	-	- ³
Turbidez	uT	351,0	29,0	91,7	-	-
Principais Nutrientes Causadores de Eutrofização						
Amônia	mg/L	2,2	16,2	-636,4	5,0 20,0 ⁴	20,0 ⁵
Nitrato	mg/L	0,1	1,3	-1000,0	-	-
Nitrito	mg/L	0,4	-	-	-	-

Fósforo Total	mg/L	4,5	6,5	-42,1	-	-
Fosfato	mg/L	8,3	13,7	-65,1	-	-
Outros Ânions de Interesse						
Sulfato	mg/L	5,7	9,3	-64,8	500,0	- ³
Sulfeto	mg/L	4,0	0,8	80,0	1,0	1,0
Fluoreto	mg/L	0,2	0,3	-94,1	10,0	10,0
Reúso em Irrigação						
Dureza Total	mgCaCO₃/L	-	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	90,0	278,8	-209,7	-	-
Condutividade	µS/cm	488,0	2.250,0	-361,1	< 3.000 ^{6,7}	-
Sódio	mg/L	103,0	210,0	-103,9	-	-
Potássio	mg/L	25,0	56,0	-124,0	-	-
Cálcio	mg/L	17,0	52,0	-205,9	-	-
Metais Pesados						
Alumínio	mg/L	-	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-	-
Boro	mg/L	-	-	-	-	5,0
Cádmio	mg/L	-	-	-	0,2	0,2
Chumbo	mg/L	-	-	-	0,5	0,5
Cromo	mg/L	-	-	-	0,5	0,1
Níquel	mg/L	-	-	-	2,0	2,0
Zinco	mg/L	-	-	-	5,0	5,0
Caracterização Bacteriológica						
Coliformes Totais	NMP/100mL	2,28 x 10 ⁴	9,6 x 10 ⁴	-321,1	-	-
E. coli	NMP/100mL	7,2 x 10 ³	2,7 x 10 ³	62,5	< 1.000 ⁶ < 5.000 ⁷	-
Ovos de Helmintos	Ovo/L	-	-	-	< 1 ^{6,7}	-

Fonte: Indústria X (2015).

Resultados de Análises de Caracterização do Efluente da Indústria X, Setembro de 2015.

Parâmetros - Caracterização Físico-Química	Unidades	Amostra 01 Afluente	Amostra 02 Efluente	Remoção Global (%)	Portaria SEMACE N° 154/02	Resolução CONAMA N° 430/11
Temperatura	°C	-	-	-	< 40	< 40
pH	-	7,69	8,46	- 10,01	7,5 - 10	5 - 9
Matéria Orgânica						
DQO_{total}	mg/L	1.770	737	58,36	200	-
DQO_{filtrada}	mg/L	520	184	64,62	200 ¹	-
DBO_{total}	mg/L	30	16	46,67	60	120 ² > 60%
DBO_{filtrada}	mg/L	8	12	-50,00	60 ¹	120 ^{1,2} > 60%
Sólidos e Materiais Flutuantes						
Materiais Sedimentáveis	mL/L				1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência	-	Ausência	Ausência
Substâncias Solúveis	mg/L	-	-	-	-	100,0 ²

em Hexano						
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Minerais	mg/L	-	-	-	20,0	20,0
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Vegetais	mg/L	-	-	-	50,0	50,0
Sólidos Totais	mg/L	2.164	2.396	-10,72	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	512	512	0,00	100,0 50,0 ²	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	1.652	1.884	-14,04	-	- ³
Turbidez	uT	144,0	66,0	42,11	-	-
Principais Nutrientes Causadores de Eutrofização						
Amônia	mg/L	3,9	19,6	-402,56	5,0 20,0 ⁴	20,0 ⁵
Nitrato	mg/L	11,5	1,0	91,30	-	-
Nitrito	mg/L	1,4	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	25,3	22,1	12,65	-	-
Fosfato	mg/L	25,8	14,9	42,25	-	-
Outros Ânions de Interesse						
Sulfato	mg/L	8,9	5,5	38,20	500,0	- ³
Sulfeto	mg/L	1,6	-	-	1,0	1,0
Fluoreto	mg/L	-	-	-	10,0	10,0
Reúso em Irrigação						
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	-	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	317,2	191,0	39,79	-	-
Condutividade	µS/cm	1.243,0	2.260,0	-81,82	< 3.000 ^{6,7}	-
Sódio	mg/L	370,0	830,0	-124,32	-	-
Potássio	mg/L	25,0	60,0	-140,00	-	-
Cálcio	mg/L	19,0	31,0	-63,16	-	-
Metais Pesados						
Alumínio	mg/L	-	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-	-
Boro	mg/L	-	-	-	-	5,0
Cádmio	mg/L	-	-	-	0,2	0,2
Chumbo	mg/L	-	-	-	0,5	0,5
Cromo	mg/L	-	-	-	0,5	0,1
Níquel	mg/L	-	-	-	2,0	2,0
Zinco	mg/L	-	-	-	5,0	5,0
Caracterização Bacteriológica						
Coliformes Totais	NMP/100mL	2,6 x 10 ⁸	3,4 x 10 ⁶	98,7	-	-
E. coli	NMP/100mL	6,5 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁴	96,9	< 1.000 ⁶ < 5.000 ⁷	-
Ovos de Helmintos	Ovo/L	-	-	-	< 1 ^{6,7}	-

Fonte: Indústria X (2015).

Resultados de Análises de Caracterização do Efluente da Indústria X, Outubro de 2015.

Parâmetros - Caracterização Físico-Química	Unidades	Amostra 01 Afluente	Amostra 02 Efluente	Remoção Global (%)	Portaria SEMACE N° 154/02	Resolução CONAMA N° 430/11
Temperatura	°C	-	-	-	< 40	< 40
pH	-	11,05	8,21	25,70	7,5 - 10	5 - 9
Matéria Orgânica						
DQO _{total}	mg/L	6.332	948,00	85,03	200	-
DQO _{filtrada}	mg/L	2.437,00	434,00	82,19	200 ¹	-
DBO _{total}	mg/L	12	16	-33,33	60	120 ² > 60%
DBO _{filtrada}	mg/L	4	12	-200,00	60 ¹	120 ^{1,2} > 60%
Sólidos e Materiais Flutuantes						
Materiais Sedimentáveis	mL/L				1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência	-	Ausência	Ausência
Substâncias Solúveis em Hexano	mg/L	-	-	-	-	100,0 ²
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Minerais	mg/L	-	-	-	20,0	20,0
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Vegetais	mg/L	-	-	-	50,0	50,0
Sólidos Totais	mg/L	4.974	2.512	49,50	-	-
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	904	868	3,98	100,0 50,0 ²	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	4.070	1.644	59,61	-	- ³
Turbidez	uT	730,0	544,0	25,48	-	-
Principais Nutrientes Causadores de Eutrofização						
Amônia	mg/L	0,60	14,6	-2333,33	5,0 20,0 ⁴	20,0 ⁵
Nitrato	mg/L	-	-	-	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	30,70	43,70	-42,35	-	-
Fosfato	mg/L	14,5	62,10	-328,28	-	-
Outros Ânions de Interesse						
Sulfato	mg/L	10,6	3,3	68,87	500,0	- ³
Sulfeto	mg/L	2,3	3,1	-34,78	1,0	1,0
Fluoreto	mg/L	21,90	0,40	98,17	10,0	10,0
Reúso em Irrigação						
Dureza Total	mgCaCO ₃ /L	-	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	74,9	210,30	-180,77	-	-
Condutividade	µS/cm	9.350,0	2.830,0	69,73	< 3.000 ^{6,7}	-

Sódio	mg/L	1.450,0	855,0	41,03	-	-
Potássio	mg/L	23,0	61,0	-165,22	-	-
Cálcio	mg/L	26,00	10,0	-61,54	-	-
Metais Pesados						
Alumínio	mg/L	-	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-	-
Boro	mg/L	-	-	-	-	5,0
Cádmio	mg/L	-	-	-	0,2	0,2
Chumbo	mg/L	-	-	-	0,5	0,5
Cromo	mg/L	-	-	-	0,5	0,1
Níquel	mg/L	-	-	-	2,0	2,0
Zinco	mg/L	-	-	-	5,0	5,0
Caracterização Bacteriológica						
Coliformes Totais	NMP/100mL	5,3 x 10 ⁴	3,3 x 10 ⁵	-522,6	-	-
E. coli	NMP/100mL	2,2 x 10 ³	5,7 x 10 ³	-159,1	< 1.000 ⁶ < 5.000 ⁷	-
Ovos de Helmintos	Ovo/L	-	-	-	< 1 ^{6,7}	-

Fonte: Indústria X (2015).

Resultados de Análises de Caracterização do Efluente da Indústria X, Novembro de 2015.

Parâmetros - Caracterização Físico-Química	Unidades	Amostra 01 Afluente	Amostra 02 Efluente	Remoção Global (%)	Portaria SEMACE N° 154/02	Resolução CONAMA N° 430/11
Temperatura	°C	-	-	-	< 40	< 40
pH	-	11,53	8,64	25,07	7,5 - 10	5 - 9
Matéria Orgânica						
DQO_{total}	mg/L	6.924	991	85,69	200	-
DQO_{filtrada}	mg/L	2.488	419	83,16	200 ¹	-
DBO_{total}	mg/L	22	32	-45,45	60	120 ² > 60%
DBO_{filtrada}	mg/L	10	20	-100,00	60 ¹	120 ^{1,2} > 60%
Sólidos e Materiais Flutuantes						
Materiais Sedimentáveis	mL/L				1,0	1,0
Materiais Flutuantes	-	Ausência	Ausência	-	Ausência	Ausência
Substâncias Solúveis em Hexano	mg/L	-	-	-	-	100,0 ²
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Minerais	mg/L	-	-	-	20,0	20,0
Substâncias Solúveis em Hexano – Óleos Vegetais	mg/L	-	-	-	50,0	50,0
Sólidos Totais	mg/L	3.106	2.568	17,32	-	-

Sólidos Suspensos Totais	mg/L	484	460	4,96	100,0 50,0 ²	-
Sólidos Dissolvidos Totais	mg/L	2.622	2.108	19,60	-	- ³
Turbidez	uT	890,0	660,0	25,84	-	-
Principais Nutrientes Causadores de Eutrofização						
Amônia	mg/L	2,5	15,80	-532,00	5,0 20,0 ⁴	20,0 ⁵
Nitrato	mg/L	11,00	2,7	75,45	-	-
Nitrito	mg/L	-	-	-	-	-
Fósforo Total	mg/L	33,60	31,10	7,44	-	-
Fosfato	mg/L	10,5	66,40	-532,38	-	-
Outros Ânions de Interesse						
Sulfato	mg/L	10,40	1,60	84,62	500,0	- ³
Sulfeto	mg/L	1,80	0,80-	55,56	1,0	1,0
Fluoreto	mg/L	0,70	1,30	-85,71	10,0	10,0
Reúso em Irrigação						
Dureza Total	mgCaCO₃/L	-	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	82,10	208,90	-154,45	-	-
Condutividade	µS/cm	3.470	3.480	-0,29	< 3.000 ^{6,7}	-
Sódio	mg/L	730,0	750,0	-2,74	-	-
Potássio	mg/L	50	80	-60,00	-	-
Cálcio	mg/L	17,0	18,0	-5,88	-	-
Metais Pesados						
Alumínio	mg/L	-	-	-	-	-
Ferro	mg/L	-	-	-	-	-
Boro	mg/L	-	-	-	-	5,0
Cádmio	mg/L	-	-	-	0,2	0,2
Chumbo	mg/L	-	-	-	0,5	0,5
Cromo	mg/L	-	-	-	0,5	0,1
Níquel	mg/L	-	-	-	2,0	2,0
Zinco	mg/L	-	-	-	5,0	5,0
Caracterização Bacteriológica						
Coliformes Totais	NMP/100mL	1,8 x 10 ⁵	5,0 x 10 ⁵	-177,8	-	-
E. coli	NMP/100mL	4,1 x 10 ³	3,5 x 10 ³	14,6	< 1.000 ⁶ < 5.000 ⁷	-
Ovos de Helminthos	Ovo/L	-	-	-	< 1 ^{6,7}	-

Fonte: Indústria X (2015).

*Concentração superior ao permitido pela legislação.

1. Efluentes de Lagoas de Estabilização.
2. Esgotos Sanitários.
3. Previsão de limites de 250 mg/L para corpos de água na Conama n° 357/05.
4. Somente para pH abaixo de 8 (Portaria SEMACE n° 111/11).
5. mg-N/L.
6. Atividade Tipo 1: Irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais e aquicultura.
7. Atividade Tipo 2: Outras atividades.